

B-20 ノンポイント汚濁解析のための都市域汚濁物流出モデルとその特性比較

立命館大学理工学部 山田 淳

立命館大学大学院 ○金 泰成, 中村 一樹

上海復旦大学 張 海平

1. はじめに

都市域の地表面に堆積し、雨天時に雨水とともにマンホールに流入するノンポイント汚濁負荷を定量化するためには、降雨の時間的・空間的分布を考慮し、集水域の地形、土地利用、表面工種などを組み込んだ分散型モデルを開発することが必要である。既に、雨天時汚濁物の挙動を組み込んで開発された分散型モデルとしては、SWMM、Hydro Works¹⁾ などがある。また本研究グループでも都市域汚濁物流出モデル (Pollutant Routing Over Urban Watershed : PROUW)²⁾ を開発している。本研究では対象集水域と降雨を仮定し、マンホール流入点のハイドログラフとポリュートグラフを計算することによって、地表面特性の影響を検討すると同時に、Hydro Works と PROUW の特性を比較する。

2. モデルの説明

2. 1 モデルの構成

マンホール流入点までの地表面流出に関する Hydro Works と PROUW のモデル構成は図 1 に示すように、流出モデルと水質モデルに分けられる。流出モデルは、降雨モデル・降雨損失モデル・地表面流出モデル、水質モデルは、汚濁物堆積モデル・汚濁物掃流モデル・汚濁物流出モデルからなる。

Hydro Works は、マンホール集水域単位の集中型モデルであり、PROUW は分散型モデルである。

2. 2 モデルの基本式

(1) 流出モデル

地表面流出モデルの内容を表 1 に整理した。降雨モデルは、降雨記録に基づき、Hydro Works では降雨強度、PROUW では累積降雨量が用いられる。降雨損失モデルは蒸発散のほか、Hydro Works では凹地貯留・Horton 浸透モデル・流出係数が、PROUW では濾過・SCS モデル・Green-Ampt 浸透モデルが用いられている。地表面流出モデルは、Hydro Works において単一線形貯留モデルである Desbordes 流出モデル、PROUW においてサンヴナン式モデルが用いられている。

(2) 水質モデル

地表面におけるノンポイント汚濁物の堆積と流出に関するモデルを水質モデルとして表 2 に示す。地表面における汚濁物の堆積量は、Hydro Works と PROUW とともに降雨に先立つ晴天日継続日数と土地利用形

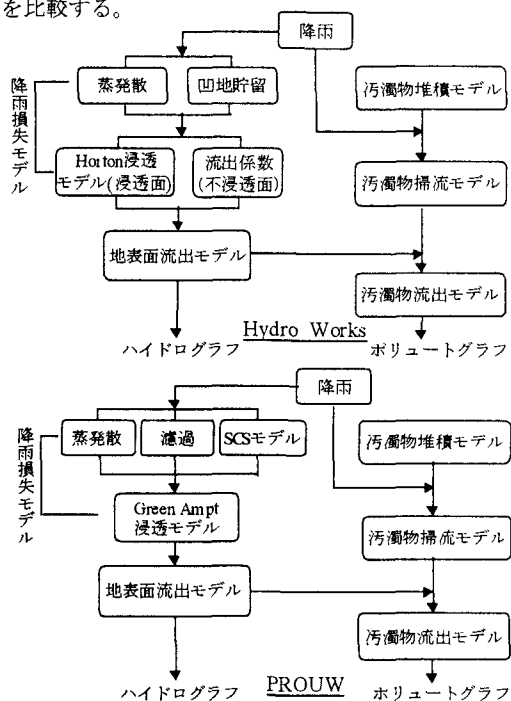


図 1 Hydro WorksとPROUWのモデル構成

態を係数とした指数関数を用いて計算される。汚濁物の掃流は堆積物の関数となっている。地表面からのノンポイント汚濁物の流出量は、Hydro Works では降雨強度による掃流の結果として、PROUW では輸送モデルが用いられている。

表 1 流出モデル

	Hydro Works	PROUW	
降雨モデル	直接降雨強度	累積降雨量	
降雨損失モデル	*凹地貯留 $D = k / \sqrt{S}$ S 勾配 *蒸発散 k 係数 (データ入力) D: 初期損失 *Horton 浸透モデル $f = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$ f_o 初期浸透定数 (mm/hr) f_c 最終浸透速度 (mm/hr) k 比例定数 (1/hr) *流出係数 (データ入力)	*蒸発散 $PET = 126 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$ *Green-Ampt 浸透モデル $f(t) = K(1 + \frac{(\phi - \theta_i)S_f}{F(t)})$ *SCS モデル $Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$ *濾過モデル $PERC = CP(SMS - SMS_w) \frac{SMS}{SMS_f}$	PET 蒸発散量 (mm) Δ 圧力変化度 (kPa /℃) r 乾湿計定数(kPa/℃) R_n 太陽輻射量(MJ/m2 day) G 土壌伝導(MJ/m2 day) f(t) 浸透量、 K 伝導係数 φ 土壌空隙率、 θ : 初期湿度 F(t) 蓄積した浸透量(mm) Q 流出量(mm) P 降雨量 (mm) Ia 初期損失量、 S 可能保水量 PERC 濾過量、 CP 濾過率 SMS 土壌水分量 (mm)
地表面流出モデル	*Desbordes 流出モデル $S(t) = KQ(t)$ S(t) : 貯留された雨水量 (m3) K 線形の貯留係数 (s) Q(t) 流出量 (m3/s)	・サンヴァン式モデル $\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r - f$ $\frac{\partial q_x}{\partial t} + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{xb}}{\rho} = 0$ $\frac{\partial q_y}{\partial t} + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{yb}}{\rho} = 0$ q_x x 方向の流量 (m2/s)、 H 水深 (m) q_y y 方向の流量 (m2/s)、 H 水深 (m)	ζ 水位 (m) r 降雨強度 (m) f 浸透率 (m) g 重力加速度(m/s2)

表 2 水質モデル

	Hydro Works	PROUW
汚濁物堆積モデル	*指数堆積関数方程式 $\frac{dM}{dt} = P_s - K_1 \cdot M$	*指数堆積関数方程式 $\frac{dM}{dt} = P_s - K_1 \cdot M$ M 堆積物量 (kg/ha) P_s 堆積係数 (kg/ha day) K_1 減衰係数 (1/day)
汚濁物掃流モデル	*汚濁物掃流 $\frac{dM_s}{dt} = K_a \cdot M_r(t) - F(t)$	*汚濁物掃流 $\frac{dM}{dt} = k_3MR^n$ Me 浮遊汚濁物量 (kg/ha) k_3 掃流係数 (1/mm) Ka 掃流係数 R 有効降雨量(mm) Mr 汚濁物量 (kg/ha) $F(t)$ 汚濁物流量(kg/s)
汚濁物流出モデル	*汚濁物流出方程式 $F_n(t) = Kp_n(t) F_m(t)$ $F_n(t)$ 汚濁掃流量 (kg/s) Kp_n 汚濁掃流量係数 $F_m(t)$ TSS 流量 (kg/s)	*汚濁物流輸送モデル $\frac{\partial(S)}{\partial t} + \frac{\partial(US)}{\partial x} + \frac{\partial(VS)}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} = k_3R^nM + E$ S 汚濁物量 (mg/l) U x 方向の流速 (m/s) V y 方向の流速 (m/s) D_x D_y x y 方向の拡散係数 E 掃流量 (mg/l s)

3. シミュレーション条件

モデル地区と降雨を仮定し、雨天時にマンホールへ流入する流量と水質を計算し比較検討する。

3. 1 モデル地区

モデル地区として、集水域面積 1 ha で浸透面 (30%) と不浸透面 (屋根、道路とその他不浸透面：70%) からなる地区を仮定する。PROUW では集水域面積をメッシュ (dx=5m、dy=5m) に分けて浸透面と不浸透面を表面工種にしたがって設定した (図 2)。

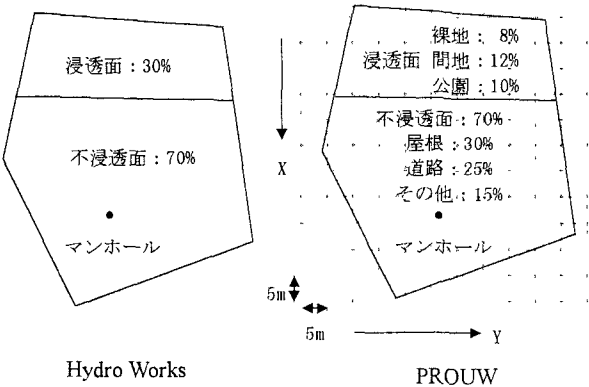


図 2 Hvdro WorksとPROUWのモデル地区

3. 2 計算条件

中密度住宅の都市域で、先行晴天日数 10 日の後（堆積 SS 量 28.8kg/ha）、30 分間連続的に 6.1mm の降雨があったと仮定する。集水域からの流出係数は 0.553 である。Hydro Works と PROUW で用いた水質パラメータの値を表 3 に示した。

表 3 Hydro WorksとPROUWの水質パラメータ

	Hydro Works	PROUW		
	不浸透面 70%	屋根 30%	道路 25%	その他 15%
堆積係数 (Ps)	6	1.5	15	4.2
減衰係数 (k1)	0.08	0.08		
掃流係数	Ka	0.015		

Ka：有効降雨量によって値が変わる

4. 計算結果

Hydro Works と PROUW モデルを用いてマンホール流入点での流量と水質を計算し、降雨量と流出流量の関係を図 3 に、SS 濃度の変化を図 4 に、SS 負荷量の変化を図 5 に示す。ここで、晴天時に地表面に堆積した SS28.8kg/ha が降雨により流出したが、降雨強度が小さかったので地表面に Hydro Works で SS6.6kg、PROUW で SS6.9kg が残存された。また、次の知見を得た。

- 1) パラメータ調整の結果、両モデルはほぼ同じパターンになることが分った。
- 2) ファーストフラッシュ現象に若干の差が出ており、分散型モデルである PROUW の適用が有効な場合があることが分った。

5. まとめと今後の課題

表面工種の連続的変化を分散型でモデル化している PROUW が特徴のある集水区について有効なモデルであることが推定できる。今後、実流域での検証を行うために雨天時の実測データを十分得ることと都市域汚濁物流出モデルのパラメータ設定するために集水域の特性を調査することが必要であると考えている。

(参考文献)

- 1) 藤田 昌一、田中 一郎：雨天時汚濁負荷量流出モデル比較検討調査、下水道新技術研究所年報、pp.77-84、1994
- 2) H. Zhang and K. Yamada：The Pollutant Routing Over Urban Watershed (PROUW) Model: Structure and Parameter Estimation, IAWQ Asia-Pacific Regional Conference, pp.1151-1158、1996

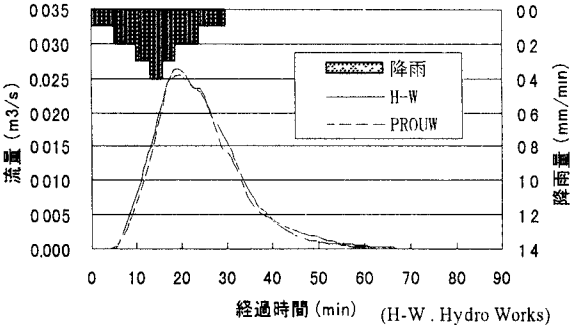


図 3 マンホール流入点の流入流量

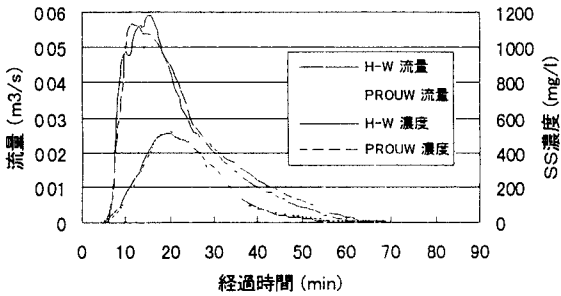


図 4 マンホール 流入点の流入濃度

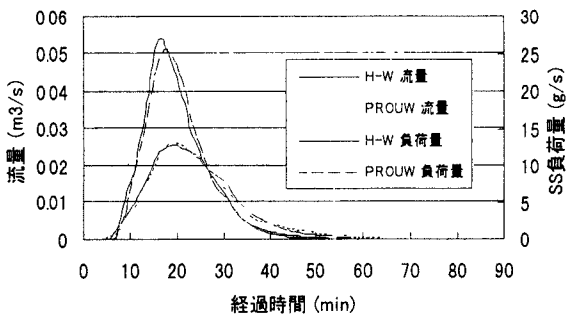


図 5 マンホール流入点の流入負荷量