

浸透域及び道路植樹帯からのSS流出を考慮した地表面汚濁流出モデル解析

Model analysis of wash-off process from pervious area and planted zone in sidewalk.

糸井 優輔¹ 中島 典之¹ 古米 弘明¹ 脇岡靖明²
Yusuke Itoi Fumiyuki Nakajima Hiroaki Furumai Yasuaki Hijioka

ABSTRACT : Wash-off behavior of suspended solids in urban area was investigated with a distributed model software. Hijioka et al (2000) have already calibrated the model parameters to simulate wash-off behavior of suspended solids (SS) from two types of impervious area, roofs and roads, by weak rains. However, a continuous simulation during eight days with five rainfall events showed that the model underestimated the SS wash-off load in two rainfall events with relatively high rainfall intensity. To improve the model, two wash-off processes were introduced to the model in this study. One process was the wash-off from pervious area and another was from planted zone along sidewalk. Model calculation with the former process fitted to the observed SS behavior under one of the two heavy rainfalls, and the model with the latter was suitable for the other rain. It was suggested that a model with both the processes might give a better simulation of SS behavior during the five rainfall events.

KEYWORDS: Wash-off process, distributed model, urban runoff, pervious area, non-point pollution

1 はじめに

都市域における公共用水域の水質汚濁源として、特定汚染源負荷だけでなくノンポイント汚染源負荷の重要性が増してきている。そのためノンポイント汚染源負荷の挙動を正確に把握した上で、水質保全のための効果的な対策を実施する必要がある。しかしながら、ノンポイント汚染源負荷は面的に存在し、かつ雨天時に非定常なイベント現象として流出するため、汚濁負荷の削減や水質保全対策が取りにくい。したがって、水質保全のためには従来以上に精度の高い汚濁負荷量の算定およびその評価、流出過程やその状況の解明、および公共用水域への影響分析などが求められている。

このような背景のなか、都市ノンポイント汚染に関するモデル解析研究が行われてきている^{1)~3)}。著者らも、下水道台帳データファイルや細密数値情報などを活用して分布型モデルによる都市ノンポイン

ト汚染負荷流出解析を実施してきている^{4)・5)}。そして、分流式下水道排水区を対象として、雨天時負荷流出調査や不浸透面堆積負荷流出モデルによる解析も試みた。その結果、降雨強度が小さい降雨に関するSS負荷流出量の時間変化を適切に再現することが可能となった。

本研究では、浸透域からの流出も起こりえるような強度の降雨に関して上記のモデル解析を適用し、SSを対象として地表面からの汚濁流出モデル解析に関する検討をおこなった。以下に、具体的な研究目的を記載する。

- 1) 道路などの不浸透面からの堆積負荷流出に加え、浸透域からの負荷流出を考慮する必要性を検討すること
- 2) 浸透域からのSS流出を考慮したモデルの有効性を検討すること

¹ 東京大学大学院工学系研究科 Graduate School of Engineering, Tokyo University

² 国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

2 対象排水区および調査方法

対象排水区(茨城県牛久市刈谷排水区)を図1に、そしてその概要を表1にまとめた。降雨データおよび観測データ(管路内水位、濁度、SS濃度)は、2000年4月に調査されたものである。調査方法や観測・採水方法の詳細は参考文献^{6)と7)}に記載されている。5つの連続した降雨を対象として、汚濁負荷の指標の一つとしてSSを測定した。ここで、本研究におけるSSの定義は45 μ mのステンレス製フルイを用いて濾過した微粒子の懸濁物質である。採水は、aおよびbの2地点において行ったが、今回の解析にはa点の調査データだけを利用した。

表1 対象排水区概要	
面積	66.9ha(31.9ha)
排除方式	分流式下水道
マンホール数	155(81)
下水管数	155(81)
下水道普及率	100%
用途地域	第一種住居専用地域
()内はpoint.bの受けもつ排水区の値	

3 雨水流出解析

分布型モデルを用いた雨水流出解析を行うためには、マンホールや管渠の情報を含む下水道ネットワークファイルや、対象排水区の地表状態を表す土地利用情報が必要とされる。本研究では、土地利用情報として、10m $\times$ 10mメッシュの土地利用数値情報を利用した⁴⁾。分布型モデルツール(HydroWorks)において、降雨損失には初期損失と浸透損失を考え、地表面流出には単線形貯留池モデルを適用した。

解析対象の降雨データの概要を表2に示しているが、降雨強度は5分間移動平均での強度を時間換算したものである。小降雨における雨水流出データを再現可能であった流出モデルパラメータ(初期損失や貯留係数など)と同じ値⁸⁾を本調査データに関して適用した結果を図2に示す。なお、本図では転倒マス型雨量計(0.1mm単位)のカウントから時

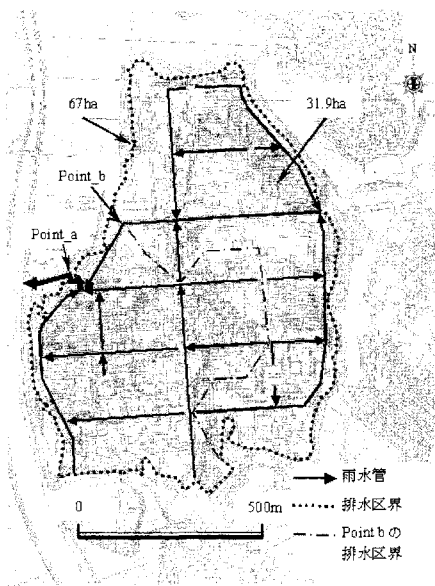


図1 対象排水区図及び排水区界
間降雨強度表示としている。

図に示されるように、比較的降雨強度の高い降雨において雨水管路内の水位変化を的確に再現可能となっている。したがって、浸透域の初期損失や浸透能のパラメータ値も妥当な設定となっていることが確認された。これにより、汚濁源の流出過程を左右する雨水流出現象を十分な精度で再現可能と判断した。

4 汚濁負荷流出解析

4.1 S/B改良モデルによる汚濁負荷流出解析結果と考察

汚濁負荷解析における晴天時汚濁負荷堆積には指数関数モデル、地表面堆積負荷流出にはSartor and Boydモデル(以下S/Bモデル)を改良したものの⁹⁾を利用した。それぞれのパラメータ値を表3、表4に示している。なお、S/B改良モデルとは屋根と道路を区別して、道路については限界掃流量の概念を

表2 対象降雨データおよびサンプリングの有無

	日付	総降雨量	最大降雨強度	降雨継続時間	先行晴天日数	サンプリング
		[mm]	[mm/hr]	[時間]	[日]	point.a
2000年	4月20日	22.9	13.2(18.0)	49.5	3.7	○
	4月23日	3.5	15.6(30.0)	5	1.4	×
	4月24日	10.2	9.6(12.0)	7.5	0.9	○
	4月26日	19.5	6(18.0)	20.5	1.6	○
	4月27日	15.9	114(144)	7	0.5	○

()は1分間の最大降雨強度

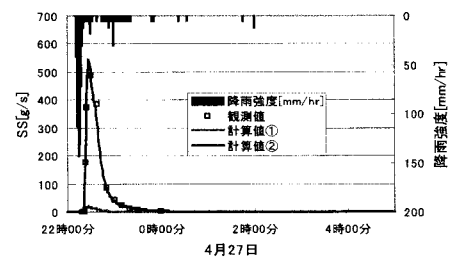
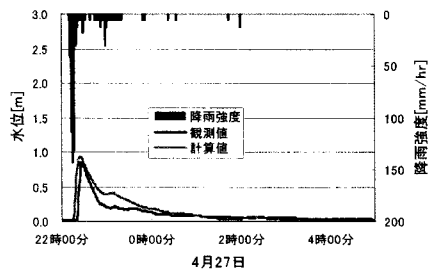
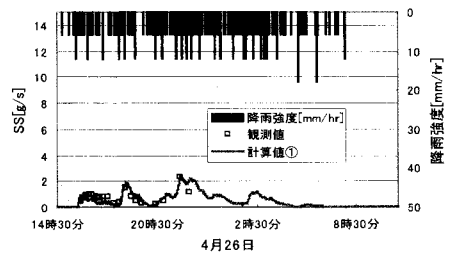
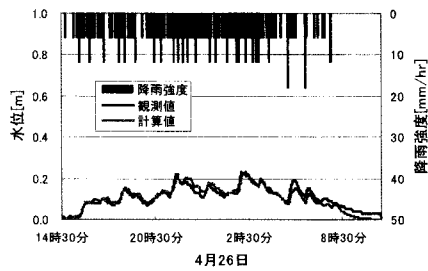
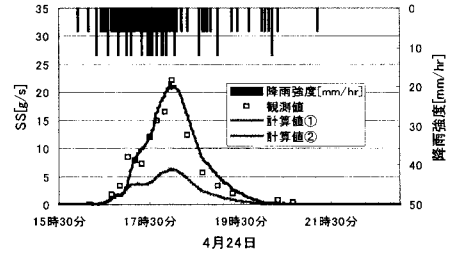
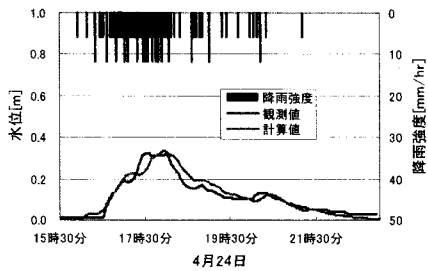
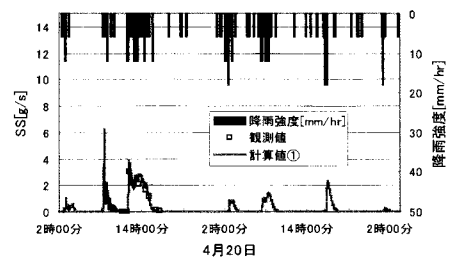
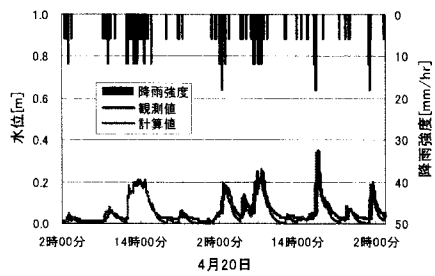


図2 雨水流出解析結果

導入したものである。

まず初期条件として4月20日の降雨について、
 妥当な汚濁流出現象を再現できるような不浸透面に
 初期堆積量を与えたのち、表に示したモデルパラメ
 ータ値を用いて連続解析した結果（計算値①）を図
 3と図4に示した。図3は降雨時の汚濁流出負荷結
 果であり、図4は調査期間全体の地表面負荷堆積量
 の経時変化である。計算値②は、4月20日と27日

図3 汚濁負荷流出解析結果

表3 地表面堆積負荷流出モデルのパラメータ値

	負荷流出係数 [mm ⁻¹]	限界掃流量 [mm/hr]
屋根	1.0	0.5
道路	0.2	1.0

表4 晴天時負荷堆積モデルのパラメータ値

	負荷堆積速度 [kg/ha/day]	減衰係数 [day ⁻¹]
屋根	0.7	0.3
道路	1.4	0.3

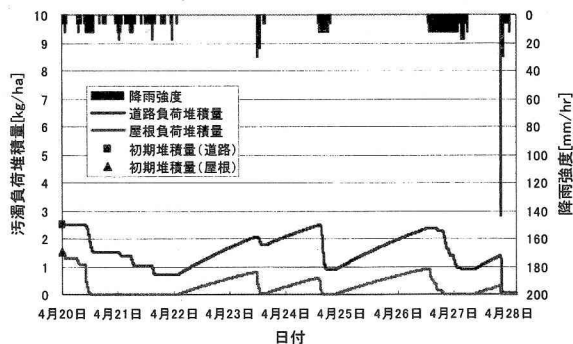


図4 地表面負荷堆積量の連続解析結果

に関して、降雨毎に汚濁流出が再現できるように初期堆積量を与えた場合の結果である。

計算値①では、4月20日と4月26日の降雨における汚濁流出現象を精度良く再現できているものの、4月24日と4月27日の降雨については、ピーク高さを全く再現できていないことが分かる。特に、短時間ながら降雨強度が高い降雨が観測された4月27日では、そのずれは極端に大きい。計算値②においては、4月24日の初期堆積負荷量は道路8.5kg/ha、屋根0.5kg/ha、4月27日では道路35kg/ha、屋根0.5kg/haの堆積量が設定されている。

一方、図4に示されるように連続解析では、4月24日、27日ともに明らかに降雨前の堆積量は少なく見積もられており、大きな負荷流出量を再現できないのは、SS供給源の評価に問題があるものと判断される。このことより、4月24日と27日の降雨においては既存のモデルで考慮している不浸透域以外からのSSの流出の可能性が想定された。そこで、新たなSS供給源として、浸透域、道路植樹帯からのSSの流出を考慮して、モデル化、解析を行った。

4.2 浸透域及び道路植樹帯からの流出を考慮した地表面堆積負荷流出モデル

道路などの不浸透域以外からのSS流出源を考える上で、実際現地において降雨直後の路面の状況(2002年1月20日)を観察した(図5)。観察により浸透域や道路植樹帯からの土砂の流出が見られたため、これをモデル化して、浸透域や道路植樹帯からのSS流出の可能性とその妥当性を検討することとした。表5に、既存モデルと比較する形で、浸

透域や道路植樹帯からの負荷流出モデルを考慮した場合の物質収支式をまとめて示した。

浸透域・植樹帯からのSS流出量を計算する項をそれぞれ既存の地表面堆積負荷流出モデルに付加したものである。浸透域からのSS流出については、浸透域からの雨水流出量を $Q_{\text{透}}(t)$ として、それに一定の流出SS濃度を掛け、その流出が道路面を介して雨水管に流入するとした。植樹帯からのSS流出は、植樹帯を通過する雨水流出量を $\alpha R(t)$ としてそれに一定のSS濃度を掛けあわせることで表現した。これらのモデル式での計算結果を表6に示す。

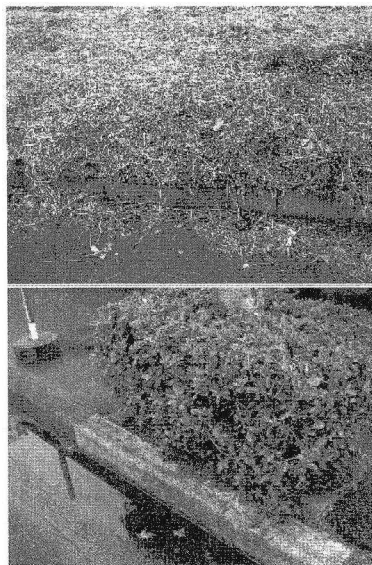


図5 浸透域と道路植樹帯からの流出の状況

表5 地表面堆積負荷流出モデル(道路)の一覧表

S/B 改良 モデル	$\frac{dP(t)}{dt} = -k(R(t) - R_c)P(t)$
浸透域流出 モデル	$\frac{dP(t)}{dt} = -k(R(t) - R_c)P(t) + C_{浸}Q_{浸}(t)/A_n$
道路植樹帯流 出モデル	$\frac{dP(t)}{dt} = -k(R(t) - R_c)P(t) + C_{植}\alpha R(t)$

ここで、 $P(t)$: 地表面堆積負荷量[kg/ha]、 k : 負荷流出係数[mm⁻¹]、 $R(t)$: 雨水流出量[mm/hr]、 R_c : 道路の限界掃流量[mm/hr]、 $C_{浸}$: 浸透域からの SS 流出濃度[kg/m³]、 $Q_{浸}(t)$: 浸透域からの流出量[m³/s]、 A_n : 集水域中の道路面積[ha]、 $C_{植}$: 植樹帯からの SS 流出濃度[kg/m³]、 α : 雨水流出量の内植樹帯を通過する割合とする。

これらの結果を見ると、浸透域流出モデルは 27 日の降雨についてはピークを再現しているが、高い降雨強度が観測されていない 24 日の降雨については再現できていない。道路植樹帯流出モデルでは、逆に 24 日は再現できているが、27 日のピーク高さが

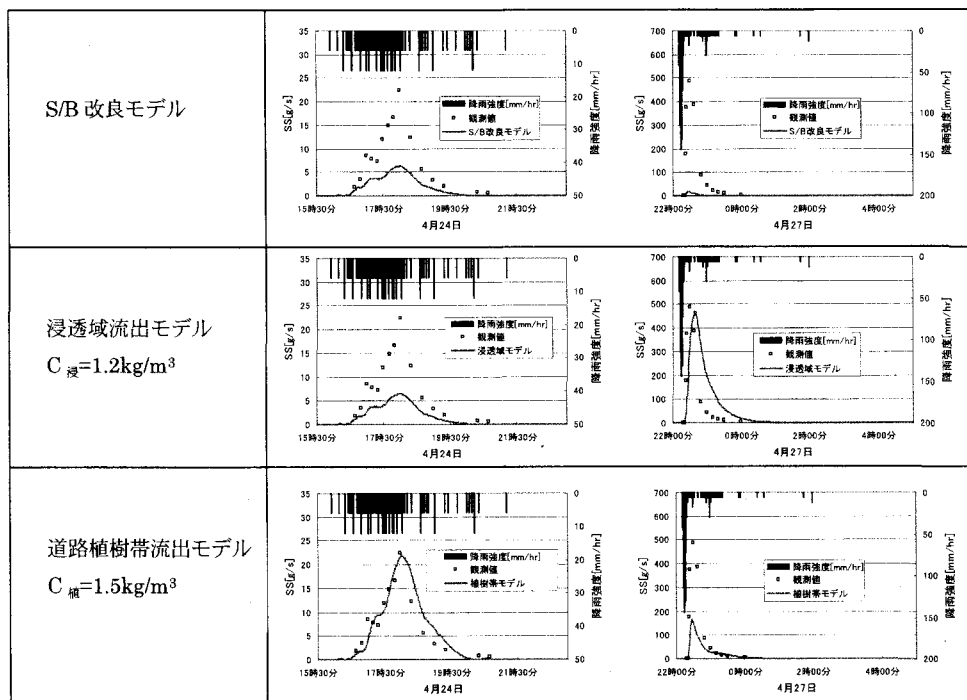
が低めの結果となっている。浸透域からの流出や植樹帯からの SS 流出濃度を一定として仮定したことに限界があるとも考えられ、降雨条件によって現実の流出濃度は変化していることも十分想定される。また、2 つのこれらの現象を同時に考慮することで再現性は向上するとも考えられる。

5 まとめと今後の課題

浸透域からの雨水流出も起こりうる強度の降雨を含む連続降雨について、分布型モデルを用いて汚濁負荷流出解析を行った結果、次のような結論と課題を得た。

- 1) 再現精度の高い雨水流出解析結果に基づいて、連続する 5 降雨に対して汚濁負荷流出解析を行ったところ、降雨強度が強い降雨において汚濁流出量を過小評価することがわかった。不浸透面以外の SS 供給源の設定の必要性が示唆された。
- 2) 屋根や道路などの不浸透域からの SS 流出に加え、浸透域及び道路植樹帯からの SS 流出を考慮したモデル式を提案した。その計算を行った

表6 解析結果の一覧表



ところ、急激な流出負荷ピークの再現性が向上したものの、浸透域からの雨水流出量や流出 SS 濃度の設定に課題が残された。

- 3) 一般的には、降雨強度や降雨継続時間が長い降雨においては、浸透域と植樹帯からの SS 流出を同時に考慮することで、負荷流出量の再現性が向上することも考えられた。提案したモデルの妥当性を検証するためには、様々な降雨条件での雨天時汚濁流出調査データの蓄積が望まれる。

参考文献

- 1) 和田安彦、三浦浩之：都市域ノンポイント汚染源負荷の堆積・流出挙動モデルと流出抑制に関する研究、土木学会論文集、No. 559 VII-2, pp. 61-71, 1997
- 2) 金泰成、山田淳、野村淳：分流式下水道雨天時汚濁負荷流出の地域特性に関する研究、環境システム研究論文集、Vol. 29, pp. 19-25, 2001
- 3) 金泰成、山田淳、権奉謙：地域特性を考慮した分布型モデルのパラメータ設定に関する研究、環境工学研究論文集 第 38 巻、pp. 207-217, 2001
- 4) 脇岡靖明、市川新、古米弘明：下水道台帳データベースと細密数値情報を利用した分布型モデルによる都市雨水流出解析、下水道協会誌、Vol. 38, No. 469, pp. 79-90, 2001
- 5) 脇岡靖明、古米弘明：都市ノンポイント汚染源負荷流出調査に基づく不浸透面堆積負荷流出モデルの検討、土木学会論文集、No. 685 VII-20, pp. 123-134, 2001
- 6) 脇岡靖明、古米弘明、中島典之：自動採水・連続測定装置を用いた分流式下水道における雨天時 SS 汚濁負荷流出調査、第 2 回水環境学会シンポジウム講演集、pp. 82-83, 1999
- 7) 脇岡靖明、古米弘明、中島典之：分流式下水道における粒径別 SS 汚濁負荷の雨天時流出特性、第 3 回水環境学会シンポジウム講演集、pp. 91-92, 2000