

降雨時における都市域からの非点源汚濁負荷流出量の定量的評価

長崎大学工学部 学生会員 龍健太 長崎大学大学院 学生会員 古江雅和  
 長崎大学工学部 フェロー 野口正人 長崎市役所 正会員 森尾宣紀

1. はじめに

近年、急速な都市開発に伴い、都市域では様々な問題が発生している。その問題の1つに降雨時の非点源汚濁が挙げられる。都市域では、様々な活動により非点源汚濁の原因となる物質が流域全体に多く堆積している。また、浸透域が減少し、分流式下水道の整備が充実してきた今、特にその影響は顕著に見受けられる。本研究では観測結果を用い、降雨と流量と剥離量の関係性から、非点減汚濁負荷流出の定量評価を行う。

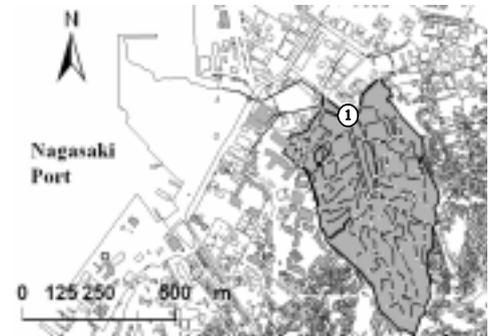


図-1 研究対象流域

2. 降雨時における非点源汚濁の流出解析方法

汚濁物質の輸送に関する基礎方程式は以下のように表される。

1次元流れに対して

$$\frac{\partial(Ch)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\zeta CUh) = q^{(s)} + q^{(b)} - \xi w_0 C \quad (1)$$

ここに、 $C$ :汚濁濃度(mg/L)、 $h$ :水深(m)、 $U$ :断面平均流速(m/s)、 $q^{(s)}$ 、 $q^{(b)}$ :それぞれ水面と底面から流入する単位時間・単位面積あたりの汚濁量(g/s/m<sup>2</sup>) (今回  $q^{(s)}$ を  $q^{(b)}$ に含めて考えるものとする)、 $\zeta$ 、 $\xi$ :補正係数、 $w_0$ :沈降速度(m/s)とする。

非点減汚濁負荷量を精度良く定量評価するには、剥離量を適切に評価することが重要となる。

次に、流量と濃度と剥離量の関係性を考えると、以下のように表される。

$$Q_n C_n = Q_{n-1} C_{n-1} + q_{*,n} A \quad (2)$$

式(2)を変形して以下の式を得る。

$$q_{*,n} = (\Delta C Q_n + C_{n-1} \Delta Q) / A \quad (3)$$

ここで、 $Q$ :流量(m<sup>3</sup>/s)、 $A$ :流域面積(m<sup>2</sup>)、 $q_{*,n}$ :剥離量(g/s/m<sup>2</sup>)とする。

定常状態のとき式(1)は式(3)に変形できる。またこの剥離量  $q_{*,n}$  は沈降の効果も含まれた形の汚濁の剥離量を表している。

3. 剥離量の評価

(1)降雨時における観測

観測は2003年7月11日～2004年8月18日までに計5回行われた。観測地点は図-1中の1地点である<sup>1)</sup>。今回は2004年に入って行われた2回の観測結果を図-2に示す。2月22日、8月18日ともに観測した水質指標はBOD、COD、SS、T-P、T-Nの5種類である。その中で今回はT-Nの結果を雨量、流量と合わせて記載する。また、流量に関して、2月22日は観測流量、8月18日はKW(kinematic wave)法を用いた雨水流出解析より得ている。

(2)剥離量と補正流量の関係

L-Q 曲線の考えを用いて、観測結果である流量と汚濁負荷量(T-Nの汚濁負荷量を使用する)の関係を考察し、その関係性から、汚濁負荷量の流出予測を行う。また、流量は普通の流量ではなく先行降雨・現行降雨

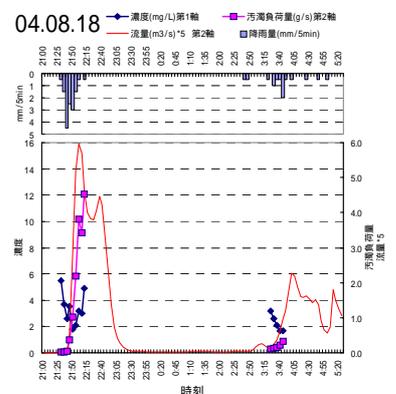
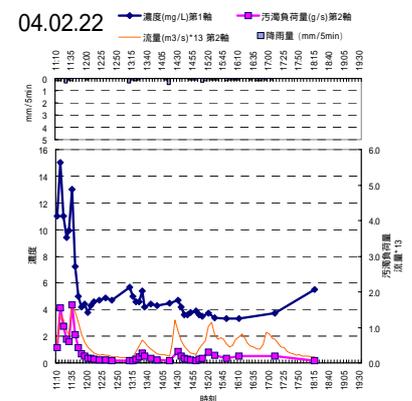


図-2 観測結果

の影響を与えて修正した流量(以下, 補正流量とする)と, 剥離量  $q^{(b)}$  を用いて比較する.

補正流量は, 先行・現行降雨の両方の影響を考慮しており, それぞれの影響係数( $f_1, f_2$ )を流量にかけ合わせることで得られる. また, かけ合わせる流量は降雨の流量に対する影響が対象流域で観測データより 15 分遅れて出ていることから, 15 分後のデータを用いる. 以下に影響係数の式を示す.

$$f_1 = 1 - \alpha \frac{R_a}{R_{a,r}} \quad (0 \leq R_a \leq R_{a,r}) \quad f_1 = 1 - \alpha \quad (R_{a,r} \leq R_a) \quad (4)$$

$$f_2 = 1 - \beta \frac{R_c}{R_{c,r}} \quad (0 \leq R_c \leq R_{c,r}) \quad f_2 = 1 - \beta \quad (R_{c,r} \leq R_c) \quad (5)$$

ここに,  $f_1, f_2$ : それぞれ先行降雨と現行降雨の影響係数,  $R_a$ : 観測日前 7 日間までの各日降雨量と 7 日間それぞれに定められた重みを乗じたものの合計,  $R_{a,r}, R_{c,r}$ : 降雨データを考慮した参照値であり, 今回はそれぞれ 5, 15 とした.  $R_c$ : その時間までの現行降雨を合計したもの(現行降雨の影響係数は時系列の数だけ存在する),  $\alpha, \beta$ : 仮においたパラメータであり, 今回はともに 0.5 としている.

次に剥離量と補正流量の関係から, 剥離現象について, 次のようなことが推察できた【図-3 参照】. まず, 図-3 中の実線内の値は非常に強い剥離が起きており, 点線で囲まれた値は剥離現象と沈降現象が平衡しているということが分かる. そして, それぞれの回帰曲線を求めることで以下の 2 つの式を得た【図-4 参照】.

$$q^{(b)} = 8.72 Q_m^{0.188} \quad (\text{剥離卓越}) \quad (6)$$

$$q^{(b)} = 1.11 Q_m^{-0.127} \quad (\text{平衡状態}) \quad (7)$$

4. 観測データとの比較

3-(2)で求めた式(6), (7)を用いて, 実際に 8 月 18 日に観測した値と比較した【図-5 参照】. 図-5 中の 0 の値は観測を行っていないということを意味する. 今回は剥離卓越時の区分に 15 分前の雨量が 0.5mm/5min より大きい場合とした. 0.5mm/5min より大きい雨量という点だけで剥離卓越とするのは有効な手段とは言えないが, 汚濁負荷量が増加する機構は正確に評価することができた.

5. おわりに

本研究では, 観測値を用いて算定した剥離量と, 先行・現行降雨を考慮した流量を用い, 強い剥離が起きる状態に着目し, それらのデータを対象にした回帰曲線から, 剥離卓越時の式を求めた. 今後は, 今回のように現行降雨だけで剥離卓越時を判断するのではなく, 先行降雨や累積降雨等を考慮して, 剥離卓越時を正確に評価しなければならない. また, これまでの観測では今回, 比較に使用したような強い降雨データは存在しなかった. よって, 様々な形態の降雨をさらに収集して, 降雨と流量と剥離量の関係性をより正確に把握していく必要がある.

参考文献

1) 古江雅和, 野口正人, 森尾宣紀, 野村佐和美: 降雨時における都市域の汚濁負荷流出機構の解明土木学会西部支部, 2004 年

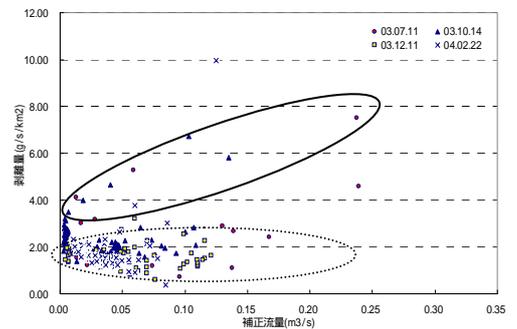


図-3 補正流量と剥離量の関係

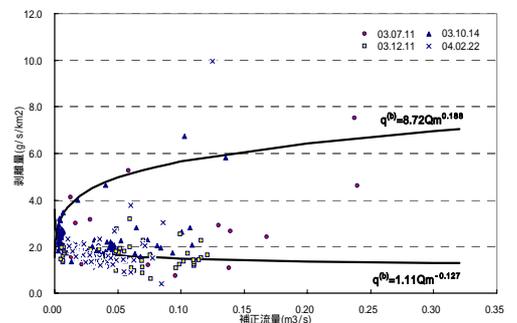


図-4 補正流量と剥離量の関係(回帰曲線)

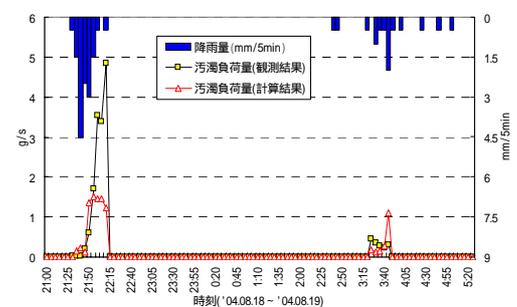


図-5 補正流量と剥離量の関係式を用いた計算結果と実測値との比較