

降雨の確率特性を考慮した SS 流出負荷量の推定

神戸大学大学院	学生会員	○岸本	宏司
神戸大学大学院	学生会員	和田	有朗
神戸大学工学部	フェロー	道奥	康治
神戸大学大学院	学生会員	阪西	大輔

1. 概要

市街地の舗装面や屋根に堆積した物質は面源起因の汚濁負荷として受水域へ排出される。合流式下水道の越流水とともに都市流域における面源負荷の問題は公共用水域の水環境を考える上で重要である。欧米では貯留・浸透施設を用いた流出量・物質負荷の制御が多く実施されている。こ

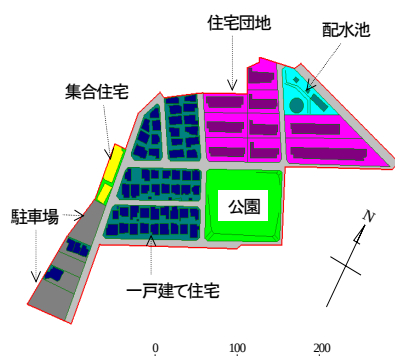


図-1 流域の土地利用

うした施設を有効に稼働させるためには、物質負荷と密接に関連する先行晴天日数(t_d)、降雨強度(r)、降雨継続時間(T)など降雨の確率諸特性を考慮し、施設規模や運用形態を決定する必要がある。本研究では、神戸市内の試験小流域における汚濁負荷流出の現地観測と神戸海洋気象台の1985年から2004年までの降雨データに基づいて降雨の確率特性を考慮したSS流出負荷量の推定方法を提案する。汚濁負荷流出の解析にはSWMM¹⁾を用いた。

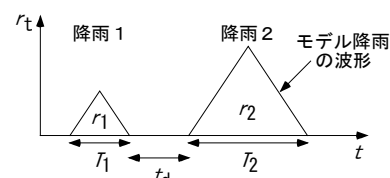


図-2 先行晴天日数(t_d)、平均降雨強度(r)、降雨継続時間(T)の定義

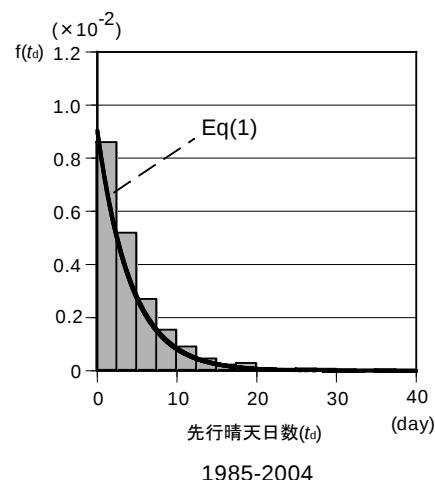


図-3 先行晴天日数(t_d)の確率密度分布

2. 確率を用いた降雨等の頻度解析

降雨時系列を特徴づける先行晴天日数(t_d)、降雨強度(r)、降雨継続時間(T)を図-2のように定義し、対象流域の降雨についてこれらの統計特性を解析した。

(1) 先行晴天日数(t_d)の確率密度分布

式(1)の確率密度関数²⁾を用い、指数分布への適合性を検討した。

$$f(x) = ce^{-c(x-d)} \quad (1)$$

ここで、 c 、 d は母数である。図-3でヒストグラムが頻度密度(実際の統計値)、実線が同定された式(1)の確率密度関数である。

(2) 平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の結合確率密度分布

2変数のガンマ関数³⁾を用いて、平均降雨強度と降雨継続時間の結合確率密度分布を同定した。結果を図-4に示す。濃淡図が頻度密度の実測値であり、実線がガンマ関数である。

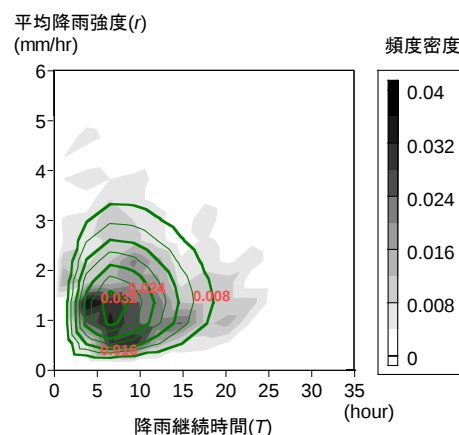


図-4 平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の確率密度関数のあてはめ

キーワード 確率評価, 統計解析, 汚濁負荷流出解析, 累積負荷量

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院自然科学研究科 岸本宏司 TEL078-803-6054

3. SWMM による汚濁負荷流出解析

SWMM においては、降雨フラッシュの効果を考慮した低減係数 k を用いて汚濁負荷流出を時間の減少関数として与える。

$$C_w = P_0(1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

$$P_0 = S_c \cdot A \cdot t_d^{S_p} \quad (3)$$

ここで、 P_0 ：初期堆積負荷量(kg)、 C_w ：累積流出負荷量(kg)、 t ：経過時間(hr)、 A ：集水面積(ha)、 t_d ：先行晴天日数(day)、 S_c ：堆積係数、 S_p ：堆積指数である。図-5 は SS の累積負荷量に関する同定結果である。

SS を対象として、 $r=0.5\sim5(\text{mm/hr})$ 、 $T=1\sim30$ (hour)、 $t_d=0.5\sim40(\text{day})$ の範囲の様々な組み合わせの三角形モデル降雨に対し、汚濁負荷流出の SWMM 解析を実施した。

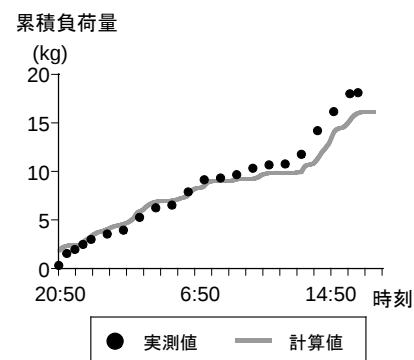


図-5 累積負荷量(SS)に関する実測値と計算値の比較

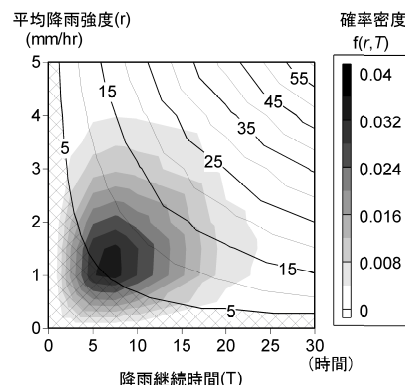


図-6 (r, T) の確率密度と累積負荷量の関係($t_d=0.5(\text{day})$ の場合)

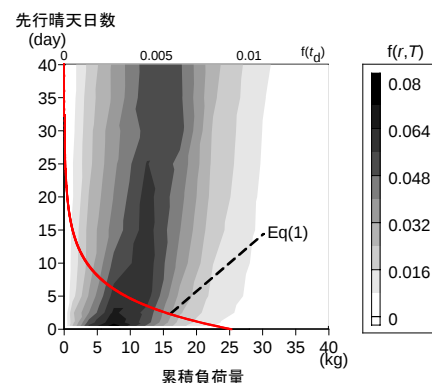


図-7 累積負荷量の確率密度分布

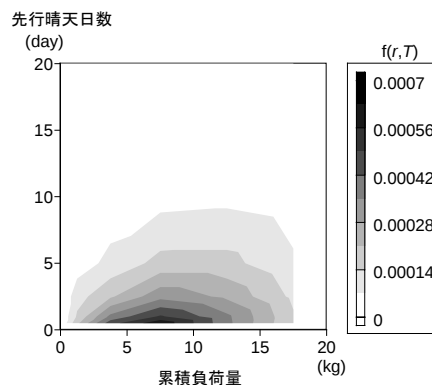


図-8 先行晴天日数(t_d)の確率を掛け合わせた累積負荷量の確率密度分布

4. 累積負荷量の確率評価

(r, T) 平面上において図-4 の確率密度関数と累積負荷量の汚濁負荷流出解析結果(実線)を重ね合わせると図-6 のようになる。累積負荷量 5(kg) を例にとれば、図-6 のメッシュ部分の確率密度の積分値が累積負荷量 5(kg) までの非超過確率に相当する。このようにして、それぞれ累積負荷量の確率分布(cdf)を求める。図-6 の実線は $t_d=0.5(\text{day})$ の場合の累積負荷量である。同様にして $t_d=0.5\sim40(\text{day})$ 毎の累積負荷量の確率分布をそれぞれ求め、これを微分して、先行晴天日数(t_d) 毎の累積負荷量の確率密度(pdf)が図-7 のように求められる。実線が式(1)の確率密度関数である。ここで、先行晴天日数(t_d)の生起確率特性(図-3)を考慮し累積負荷量の pdf(図-7)に乗じて、先行晴天日数(t_d)、平均降雨強度(r)、降雨継続時間(T)の 3 つの水文量の確率を用いた累積負荷量の生起確率を評価することができる。すなわち、雨が降り対象流域から流出する累積負荷量を確率的に評価できる。結果を図-8 に示す。対象流域では一雨で流出する累積負荷量が 5~10(kg)程度である確率が高い。

5. 結論

先行晴天日数(t_d)の頻度が指数分布に従うことを確認した。平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の結合確率に関しては、2 変数ガンマ関数により評価した。降雨の統計解析と SWMM による汚濁負荷流出解析の組み合わせにより、一雨累積流出負荷量の生起確率を評価した。以上の知見を貯留施設の計画に供することが今後の技術的課題である。

参考文献

- Wayne.C. Huber et al : Storm Water Management Model, Version4, ; User's Manual,U.S.EPA/ 600/3-88/001a,1988.
- 神田徹, 藤田睦博 : 水文学 - 確率論的手法とその応用 -, pp13-40, 技報堂, 1979
- 長尾正志・角屋睦 : 二変数ガンマ分布とその適用に関する研究(2), 京大防災研年報, 第 14 号, pp43-56, 1971