

降雨の確率特性を用いた雨水貯留施設による面源負荷軽減効果

神戸大学大学院 正会員 ○和田 有朗

新日鉄エンジニアリング株式会社 正会員 岸本 宏司

神戸大学大学院 フェロー 道奥 康治

1. 概要

流域の開発や都市化の進展による不浸透域の増加により、降雨後の流出量の増加、流出時間の短縮といった治水上の問題とともに、河川や湖沼など公共水域の汚染原因のひとつである面源負荷が問題となっている。流出抑制対策の一つとして雨水貯留施設の設置が行われている。貯留施設は流出抑制だけでなく、流出水の一時的貯留により懸濁物質を沈降除去するため、環境対策施設としての機能としても期待できる。本研究では、試験流域に雨水貯留施設を設置することを想定して、降雨の確率特性を考慮しながら雨水貯留にともなう汚濁物質の除去効果を検討した。

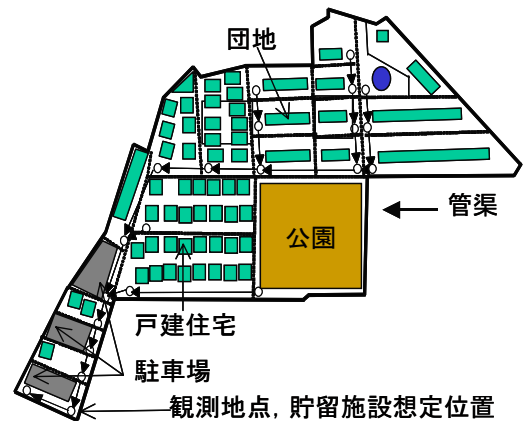


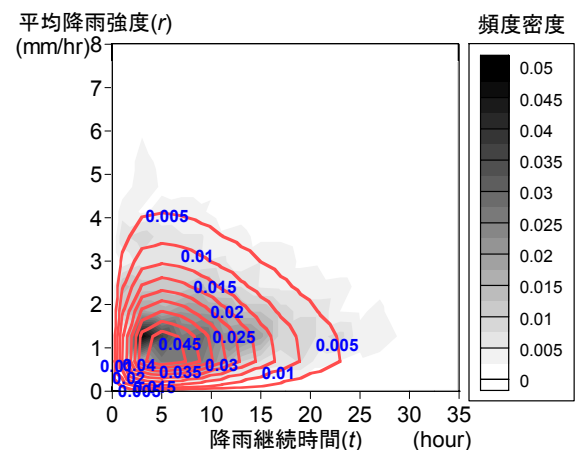
図-1 試験流域の概要

2. 確率密度関数を用いた降雨事象の頻度解析

神戸海洋気象台の1966年から2005年までの降雨データを用いて、降雨継続時間(t)と平均降雨強度(r)の結合確率を式(1)で表わされる¹⁾2変数のガンマ関数により再現した。

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{\Gamma(\nu)(\sigma_1\sigma_2)^{\frac{\nu+1}{2}}(1-\rho)^{\frac{\nu-1}{2}}} \times (x_1x_2)^{\frac{\nu-1}{2}} \times \exp\left\{-\frac{x_1}{\sigma_1(1-\rho)} - \frac{x_2}{\sigma_2(1-\rho)}\right\} \times I_{\nu-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{1-\rho}\sqrt{\frac{x_1x_2}{\sigma_1\sigma_2}}\right) \quad (1)$$

ここで、 ν は形状母数、 σ_1 、 σ_2 は尺度母数、 ρ は相関母数、 $\Gamma(\nu)$ はガンマ関数、 $I_{\nu-1}(z)$ は $(\nu-1)$ 次の第1種変形ベッセル関数である。結果を図-2に示す。濃淡図が頻度密度の実測値であり、実線が式(1)のガンマ関数である。

図-2 降雨継続時間 t と平均降雨強度 r の確率密度関数のあてはめ

3. 貯留施設設置による除去効率

SWMM²⁾のStorage/Treatmentブロックのplug flow理論に従った貯留施設によるSSの汚濁除去のシミュレーション結果は図-3のようになる。なお、降雨条件は $t=5$ (hour)、 $r=4$ (mm/hr)、先行晴天日数 $t_d=5$ (day)であり、貯留施設は堰による自然越流型、堰幅0.5(m)、越流部の水深1(m)、水深2(m)、面積300(m²)、容量は300(m³)である。流入時の負荷量 L_{in} と流出時の負荷量 L_{out} から次式を用いて除去率 $E(\%)$ を計算する。

$$E(\%) = \frac{\int L_{in} dt - \int L_{out} dt}{\int L_{in} dt} \times 100 \quad (2)$$

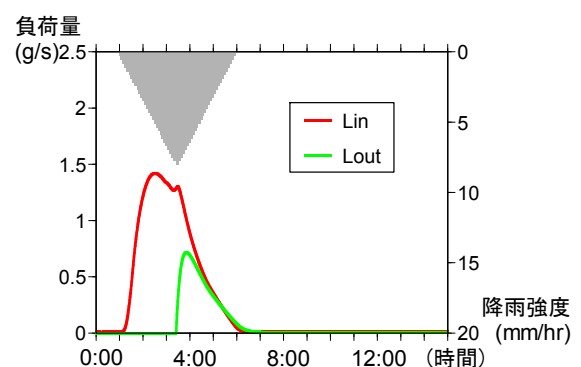


図-3 負荷量の時系列変化

キーワード 雨水貯留施設、確率密度関数、面源負荷、除去率

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-803-6054

4. 降雨条件と除去率の関係

図-2 より, $t=5\sim30(\text{hour})$, $r=1\sim6(\text{mm/hr})$ の範囲の様々な組み合わせの三角形モデル降雨に対し, SWMM を用いて汚濁負荷流出解析³⁾を実施し, 降雨条件ごとに除去率を算出した. 対象水質項目はSSである. 先行晴天日数 $t_d=5$ 日, 貯留施設容量 $100(\text{m}^3)$ の場合の結果を図-4 に示す. 強い雨になればなるほど, 除去率が低い. これは強い雨ほど流量も大きくなり, また貯留施設内の滞留時間が短くなるので, 除去率が低くなると考えられる.

5. 貯留施設による面源負荷軽減効果

流出挙動に大きく影響するのは降雨条件である. しかし, どのような雨が降るかはわからない. そこで, 様々な降雨条件(t, r)で解析を行った結果(図-4)に, その発生確率(図-2 で再現した2変数の確率 $f(t, r)$)を乗じて合計することにより, 貯留施設ごとに除去率の期待値 $E[E]$ を算出する(図-5). これにより, 降雨の確率特性を考慮して貯留施設の容量に応じた面源負荷除去量の期待値が算出される. 対象水質項目はSSとし, 施設条件は堰による自然越流型, 堰幅 0.5(m), 越流部の水深 1(m), 水深 2(m)は固定し, 面積を 50, 100, 200(m^2)と変化させ, 容量を 50, 100, 200(m^3)と変えていく. 結果を図-6 に示す. 対象流域では, 1000(m^3)の貯留施設を設置すると, 一般的な雨に対しては 90% 近く SS を除去できることがわかる. また, 先行晴天日数 t_d による除去率の違いはあまり見られない.

このように, 貯留施設の大きさと除去率の期待値との関係を明らかにし, 併せて貯留施設の建設費用や治水・環境面での便益を評価すれば貯留施設の適正規模を合理的に決定することが可能となる.

6. 結論

降雨継続時間 t と平均降雨強度 r のそれぞれを確率変数として二変数ガンマ関数に適合させ, 降雨の確率過程を表現した. 貯留施設を設置することを想定して SWMM による汚濁負荷解析を実施し, その結果と降雨の確率特性に基づいて, 貯留施設容量と汚濁負荷削減量との関係を明らかにした.

参考文献

- 1) 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
- 2) Wayne.C. Huber et al: Storm Water Management Model, Version4, User's Manual, U.S.EPA/ 600/3-88/001a, 1988.
- 3) 岸本宏司・和田有朗・道奥康治他: 降雨の確率特性を考慮したSS流出負荷量の推定, 土木学会年次学術講演会, 2006

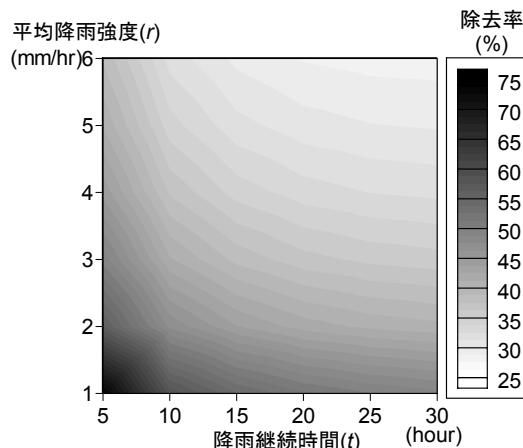


図-4 降雨条件と除去率の関係(100 m^3)

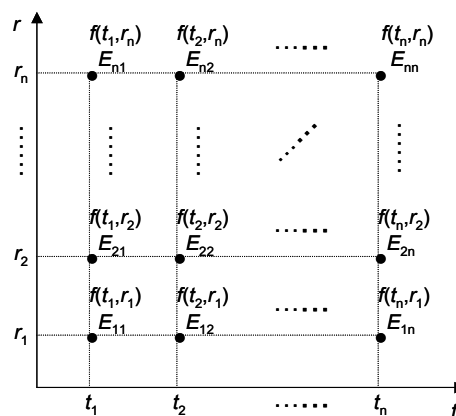


図-5 除去率の期待値算出の概念図

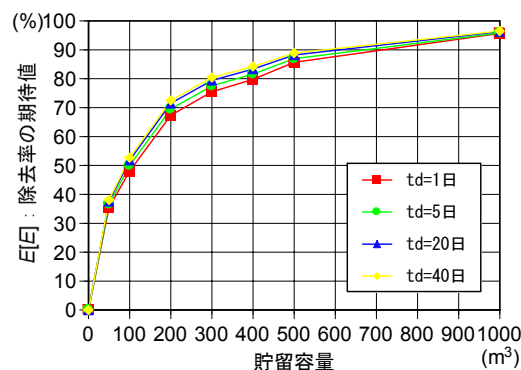


図-6 一雨あたりの施設容量の違いによる汚濁負荷削減効果(SS)

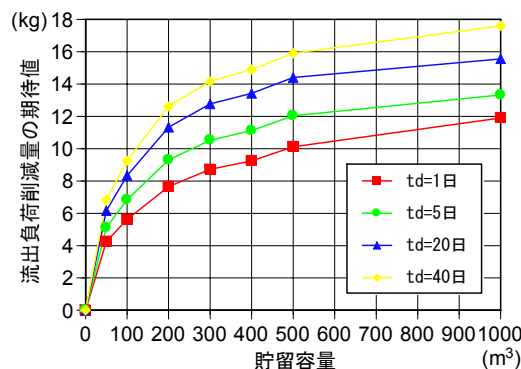


図-7 一雨あたりの施設容量の違いによる流出負荷削減量(SS)