

II-344 雨水貯留施設による非特定汚染源負荷の除去効率の理論

近畿大学理工学部 正員 江藤 剛治
 (株)建設技術研究所 正員 栗田 秀明

1. はじめに

降雨時に下水道から公共用水域に流出する非特定汚染源負荷を削減するための方策の一つとして、降雨時の流出水を一時貯留して降雨終了時に処理して公共用水域に放流するという方式がある。ここでは、雨水貯留施設による汚濁負荷の除去効率の式を導き、モンテ・カルロ・シミュレーションにより精度を検証した。

2. 確率模型

次のような仮定・記号を用いる。

- ① 雨量時系列は複合ポアソン過程で表示されるものとする。降雨時間間隔を t 、一雨の総流量（以下一雨流量と書く）を v で表す。
- ② t 、 v とともに指数分布に従う。尺度母数を β_t, β_v で表す。
- ③ 一雨の総流出負荷量 w を次式で表す。 $w = a(1 - e^{-k_c v})$ 定数 a, k_c は一定とする。
- ④ 全量カット方式とする。貯留容量を z_0 とし、貯留施設が満水になった後は、流出水は貯留施設には流入せず、直接公共用水域に放流するような構造になっているものとする（ファースト・フラッシュを貯留するため）。
- ⑤ 貯留施設内では完全混合とする。
- ⑥ 単位時間当りの処理水量 d （処理容量）は一定とする。単位時間に処理施設を通過する汚濁負荷のうち、処理されて公共用水域には出ないものの割合 k_t （以後除去率と呼ぶ）は一定とする。対策を講じない状態での平均流出負荷量に対する、対策後の平均流出負荷量の減少量の割合を負荷減少率 ϵ と呼ぶことにする。

3. 境界条件

d, z_0 を変数とする平均負荷減少率 ϵ の関数について、境界条件があらかじめ完全にわかっているわけではない。逆に、各境界近傍の関数形を求めることがさし当たっての目標である。まず境界近傍の領域を表す条件を数式的に表現する。 z_0 の大小は二つの基準で判断される。一つは平均一雨流量 \bar{v} ($= 1/\beta_v$) との関係、他は降雨周期当たりの平均処理水量（処理容量 $d \times$ 平均降雨間隔 \bar{t}_R ）との大小関係である。これより境界近傍の領域の種類は Table 1 あるいは Fig. 1 のように整理される。表中の D, Z_0 は無次元処理容量、貯留容量であり、次式で表される。 $D = (\beta_v / \beta_t) d, Z_0 = \beta_v z_0$

Table 1 Domains near boundaries

	A	B	C	D
領域	$z_0 \ll \frac{1}{\beta_t} d$	$d \gg \frac{\beta_t}{\beta_v} (= \frac{\bar{v}}{t_R})$ $z_0 \gg \frac{1}{\beta_v} (= \bar{v})$	$d \ll \beta_t z_0$ $d > \frac{\beta_t}{\beta_v}$	$d \ll \beta_t z_0$ $d < \frac{\beta_t}{\beta_v}$
無次元表示	$Z_0 \ll D$	$D \gg 1$ $Z_0 \gg 1$	$D \ll Z_0$ $D > 1$	$D \ll Z_0$ $D < 1$
物理的意味	Infinitesimal Reservoir 処理容量過大	処理容量貯留容量ともに過大	貯留容量過大 処理容量やや過大	Infinite Reservoir 貯留容量過大

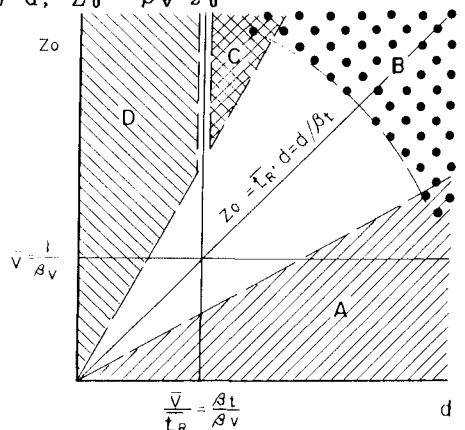


Fig. 1 Domains near boundaries

4. 結果

結果として各領域での負荷減少率 ε は次のように示される。

$$\varepsilon = \begin{cases} k_t \{1 - e^{-(1+K_c) Z_0}\} & (\text{領域 A}) \\ k_t & (\text{領域 B, C}) \\ k_t \frac{(1+K_c) D}{1+K_c D} & (\text{領域 D}) \end{cases} \quad (1)$$

c. 近似式

各境界値と、境界上の一次の微係数が、式(1)のそれに一致するような式を考える。

$$\varepsilon' = k_t (1+K_c) C (1 - e^{-Z_0/C}) \quad (2)$$

ここに、

$$C = \begin{cases} D / (1+K_c D) & (D \leq 1 \text{ のとき}) \\ 1 / (1+K_c) & (D > 1 \text{ のとき}) \end{cases}$$

式(2)は、 D 、 Z_0 軸上で一次の微係数までが、 D あるいは Z_0 が大きいときは完全に式(1)に一致することは容易に証明される。よって式(2)は全領域にわたって負荷減少率 ε の式の一つの近似式になっていることが期待される。

5. モンテ・カルロ・シミュレーション

流出量と流出時間間隔を、標準指数乱数 ($\beta_t = \beta_v = 1$)

として発生させる。これを貯留施設に流入させ、貯留施設が満水になれば残量は溢流させる。流出直後より単位時間当り D の割合で貯留水を処理する。以上を電子計算機上でシミュレートする。全除去量を流出負荷量で割って ε を求める。施設容量

(D 、 Z_0) の多くの組合わせに対して同様の計算をくり返し、

(D 、 Z_0) と ε の関係を求める。これと式(2)とを比較する。

$k_t = 1$ 、 $K_c = 1$ に対する計算結果と式(2)を比較したものを

Fig. 2 に示す。以上より式(1)の理論解が正しく成り立っていることがわかる。

式(2)も第1次近似解としては予想された程度の精度を持つことがわかる。ただし、最適な施設規模は $Z_0 = D = 1$ の近傍に存在するものと予想されるが、この付近は領域の中央部に相当し、各境界からもっとも離れた所であるため近似解の精度が最も低くなる。シミュレーション値と式(2)を比較し、誤差を (D 、 Z_0) の適当な関数で表示して高い精度を持つ近似式を作ることは容易である。ただし、現時点でそのような努力をする意味はない。現実の貯留-処理系に現在までに得られた成果を適用し、理論に必要な改良・拡張を加えることが先決である。その後再度精度を検討し、必要なら一部経験式を持ち込めばよいと考えられる。

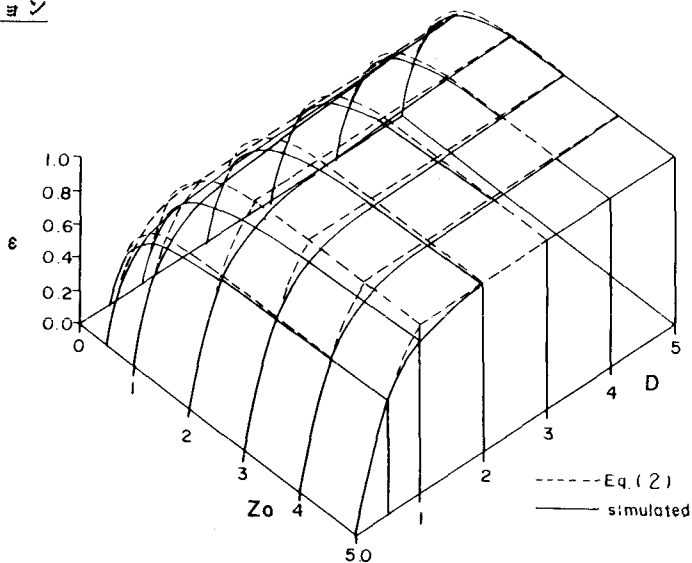


Fig. 2 Comparison between eq.(2) and Exact solutions (simulated) $k_t = 1$, $K_c = 1$