

雨水貯留施設の利水効果

Efficiency of Cisterns

近畿大学理工学部 正会員 江藤剛治

鋼建設技術研究所 正会員 栗田秀明

1. はじめに

国技館をはじめ全国各地で貯めた雨水を水資源として有効利用しようという試みがはじめられている。このような雨水貯留施設の利水効果については、これまで、実測の降雨資料を入力とする水収支シミュレーションにより評価されてきた。著者らは、雨水貯留施設による雨天時汚濁負荷の公共用水域への流入量削減効果を表わす式を導いた。この式で、負荷の洗い出されやすさを表わす洗浄係数 k_c を0にした場合は、負荷が流出雨水に一樣に溶けこんでいる場合を意味する。よって、比率で見ると、負荷の溢流率と水の溢流率とは等しくなる。同様に負荷の貯留施設での補捉率と水の補捉率とは等しくなる。また処理施設での除去率 k_t を1とした式は、補捉した水を全て利用する場合に相当するので、 $k_c=0$ 、 $k_t=1$ とした式は、貯留施設で補捉した水の利用率の式となる。この雨水貯留施設の利水効果の式と、大阪の実測降雨資料を用いた水収支シミュレーション結果を比較することにより、式の精度を確かめるとともに、これを例として、実際の計画における提案式の使い方を紹介する。

2. 提案式

利用率の式は次の簡単な式で表わされる^{1)~3)}。

$$\varepsilon = C \{1 - \exp(-Z_0'/C)\} \quad \text{..... (1)}$$

ここに、

$$\begin{aligned} Z_0' &= Z_0 - c_{zd} Z_d' + D T_r \\ Z_d' &= Z_0 - 2 \ln \{ (2 - \exp(-Z_0/2)) \} \\ \begin{cases} C=D, & c_{zd}=\sqrt{D} & \text{..... (D} \leq 1 \text{ のとき)} \\ C=1, & c_{zd}=1/\sqrt{D} & \text{..... (D} > 1 \text{ のとき)} \end{cases} \end{aligned}$$

D 、 Z_0 、 T_r は無次元表示で表わした、単位時間当りの処理水量、貯留施設の容量、一雨流出継続時間を表わす。すなわち、処理水量を d 、貯留容量を z_0 、平均一雨総流出量を $\bar{v}$ 、平均流出時間間隔（直接流出開始から次の直接流出開始まで）を $\bar{t}_R$ 、平均流出継続時間を $\bar{t}_r$ とすると、

$$D = \bar{t}_R \cdot d / \bar{v}, \quad Z_0 = z_0 / \bar{v}, \quad T_r = \bar{t}_r / \bar{t}_R \quad \text{..... (2)}$$

D は利水目的を考える場合には、利用水量の無次元量を表わす。すなわち、一雨から次の一雨までの間の利用水量が、一雨流出量の何倍になっているかを表わす。 Z_0 は、無次元貯留容量で、貯留施設の容量が一雨流出量の何倍になっているかを表わす。 $\bar{v}$ 、 $\bar{t}_R$ 、 $\bar{t}_r$ 等は水文特性からすぐ求まるから、利用水量、貯留施設の容量を与えれば、流出した雨水の何% ($\varepsilon \times 100$)が有効に利用されるかがすぐわかる。

図-1には、Goforth らがアトランタの実測降雨資料を用い、実流域に対して雨水貯留施設の効果を検討したシミュレーション結果⁴⁾が示されている。この手法はSWMMを用い、水量の収支について計算している。この結果と式(1)を比較する。流出量に関する諸量は表-1のよう示される。

結果を図-1に示す。横軸には無次元利用水量 D 、縦軸には無次元貯留容量 Z_0 を取っている。すなわち貯留施設の容量がこれだけで、

表-1 流出諸量

平均一雨雨量	5.7 mm
平均流出時間間隔	124.3 hr
平均流出継続時間	6.887 hr
流域面積	0.1 km ²
流出率	0.37

常時これだけ水を使えば流出雨水のうち何%が使えるかを表わしている。 D 、 Z_0 が小さいと、大きな降雨のとき流出水が貯留施設から溢れるので利用率は下がる。大きいときは上がって1に近づく。式(1)とシミュレーション値は見事に一致している。図-2にはこれまで得られていた一番新しい理論解と実測値を用いたシミュレーション結果を比較している。解は1985年に Loganathan らが発表したもので⁵⁾、理論的な上界と下界を示している。確かにシミュレーション値は上下界の二つの線の間に入っているが、解そのものは実用解からはほど遠いことがわかる。図-1、図-2を比較すれば、式(1)ははじめて導かれた実用性の高い解であることがわかる。

文献1)~3)に示す著者の解は、Loganathanらのものを含む、これまでの研究とは全く違う考え方から導かれた。また、図-1で式(1)とシミュレーション結果があまり良く一致しているので、一致するように式中のパラメータ等を決定したのではないかという誤解を生ずるかもしれない。実のところ全く無関係に導かれた式で、著者ら自身も合致度の高さに驚いている。以下で大阪の雨を使って再度検証する。

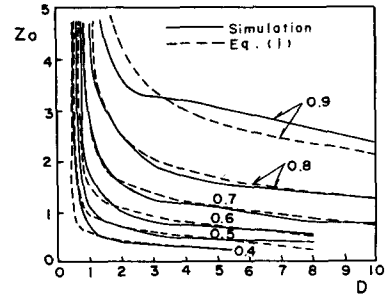


図-1 Goforth らによるシミュレーション値と式(1)の解の比較

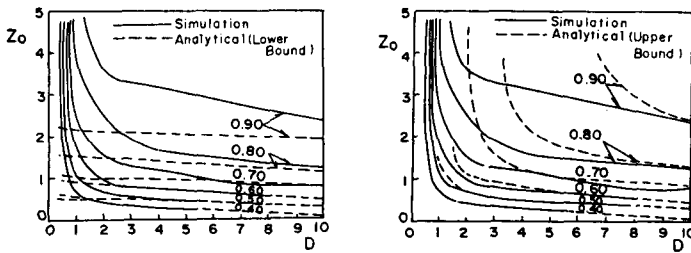


図-2 Goforth らによるシミュレーション値と Loganathan らの解の比較⁵⁾

3. 大阪の実測降雨によるシミュレーション結果との比較

3. 1 シミュレーション

資料としては1971年~1980年の10年間の6~10月に大阪で観測された時間雨量資料を用いた。流出模型としては、下記の簡単なものを用いた。複雑なものを用いても以下の議論に変わりはないからである。

- (1) 3時間無降雨が続けば、別の一雨とする。ただし0 mm/hrは、無降雨とみなす。
- (2) 凹地貯留として2 mmを考える。各一雨降雨から2 mmを差し引く。2 mm以下の一雨は流出しないと、2 mm以上の一雨については、降雨開始から初期損失として2 mmを差し引く。
- (3) あとは流出するものとし、残りの降雨波形と流量波形は相似とする。すなわち凹地貯留を除く降雨波形に不透水面積率をかけ、雨量から流量への換算係数をかけたものを流量波形とする。これが貯留施設に流入する。ただし、率を考える場合は面積をかけてもかけなくても同じなので、雨量単位で計算する。
- (4) 日平均で、単位時間当り d mm/hrの一定量の水を使うものとする。貯留施設が空になれば雨水の使用量は0とし、その分は通常の上水道から直接給水するものとする。
- (5) 貯留施設が満水状態 Z_0 であるとき、流入量が利用水量を上回ると溢流する。

シミュレーションのためには、まず利用水量 d と貯留容量 Z_0 の値を固定し、10年を通して上記のシミュレーションを行い、全使用水量を全流出量で割れば利用率 (Loganathan らの表現では catchment rate) が求まる。また貯留施設が空になる回数・期間、すなわち水道水に頼る回数・期間、その量、逆に貯留施設が

満水になる回数・期間や、10年間の年ごとの利用率の変動等もすぐ計算することができる。d、z。の多くの組み合わせに対してこれらを計算すれば、図-1と同様の図を書くことができる。

d、z。を無次元化するには、一雨当りの流出量の平均値 $\bar{v}$ と、流出の時間間隔の平均値 $\bar{t}_R$ を求めておき式(2)を使えばよい。

3. 2 降雨時系列特性

表-2に、3時間連続無降雨で一雨雨量を定義した場合と、各一雨から2mmの凹地貯留を差し引いた降雨系列について、一雨雨量、降雨時間間隔、一雨降雨継続時間の平均値、標準偏差等を計算したものを示す。図-3、図-4はそれらの月ごとの変動を示す。凹地貯留を考慮した系列では、平均一雨雨量 $\bar{v}$ は16.8mm、平均降雨時間間隔 $\bar{t}_R$ は92.0時間、平均降雨継続時間 $\bar{t}_r$ は6.42時間、降雨時間比 T_r は0.0698であることがわかる。一雨降雨回数は年平均38.5回、月平均7.7回程度でこれらの値は季節（ただし6～10月）によって、そう大きくは変わらないことがわかる。表中には変動係数も示している。理論的に、指数分布では変動係数は1、平方根指数分布では1.5となるが、表よりわかるように、降雨時間間隔、降雨継続時間については変動係数はほぼ1となり、ともにほぼ指数分布に従うことが予想される。一雨雨量については1.5に近い値となり、より歪の大きい平方根指数分布に近い分布に従うことがわかる。

3. 3 結果

式(2)より、貯留容量z。、単位時間当たりの処理水量dは、

$$d = \bar{v} / \bar{t}_R \cdot D = 0.183 \cdot D$$
$$z。 = \bar{v} Z。 = 16.8 \cdot Z。 \tag{3}$$

無次元処理容量、貯留容量D、Z。ともに、0～5まで、0.25幅で変えて、式(3)よりd、z。を決め、合計400ケースについて利用率を計算した。貯留量の初期値の与え方のちがいの影響が出ないように、1970年のデータで計算したときの最終貯水量を初期貯水量として以後のシミュレーションを行った。結果を図-5～図-7に示す。また式(1)によって計算した値も併記している。

実測降雨によるシミュレーション値と、式(1)は非常に良く一致している。たとえば、もっとも重要な $D = Z。 = 1$ 付近でそのシミュレーション値は50.5%、式(1)による値は52.0%であり、誤差はわずか1.5%である。また、最大誤差は約6%であった。水文量の観測精度や、要求される計画の精度から見て、この程度の誤差は無いに等しい。

ただし、大阪の例では、Dが大きくなるに従って誤差が大きくなる傾向が見られる。今後の検討で、これが一般的な傾向であるということになれば、式(1)の最後の式の $c_{ad} = D^{-0.5}$ の指数(-0.5)を少し変えるなどの工夫が必要となるかもしれない。

4. まとめ

著者らの導いた雨水滞水池による非特定汚濁流出負荷削減効果の評価式を、雨水貯留施設による雨水の利用率の評価に適用してみた。アトランタ、大阪のいずれの実測雨量系列を用いたシミュレーション結果に対しても、著者らの式による計算値は予想外と言っていいほどよく一致した。

アメダスのデータ等を用いて、式中の主要なパラメーター、すなわち平均一雨雨量、平均降雨時間間隔、平均流出時間間隔等を、地域別、季節別に計算し、これを図化しておけば式(1)の実用性はますます高くなる。

表-2 降雨時系列特性

	一雨雨量 v (mm)	降雨時間間隔 t_R (hr)	一雨降雨継続時間 t_r (hr)
平均値	16.8	92.0	6.42
標準偏差	22.1	100.4	5.65
変動係数	1.32	1.09	0.88
総一雨降雨数 (2mm以上) : 385			
降雨時間比 ($T_r = \bar{t}_r / \bar{t}_R$) : 0.0698			

各一雨から2mmの凹地貯留を差し引いた系列、大阪、1971～1980年、6～10月

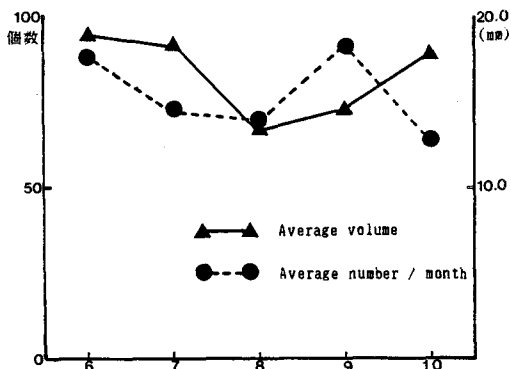


図-3 月ごとの一雨降雨特性
平均雨量、月平均個数

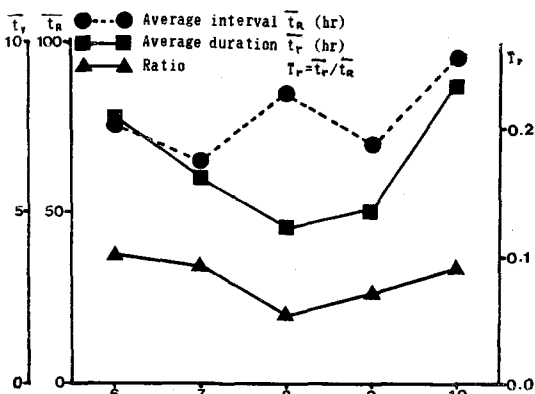


図-4 平均降雨時間、平均降雨時間間隔、
降雨時間比

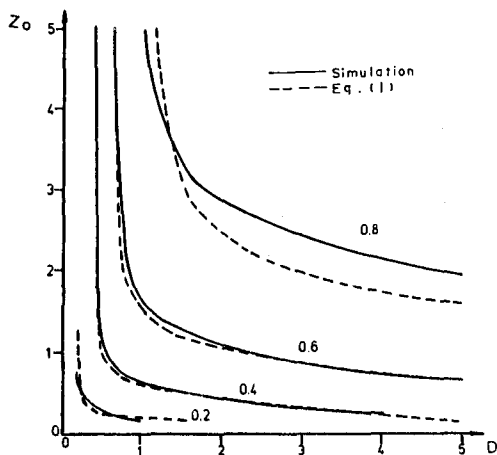


図-5 大阪の降雨に対するシュミレーションと
式(1)から計算した利用率の比較

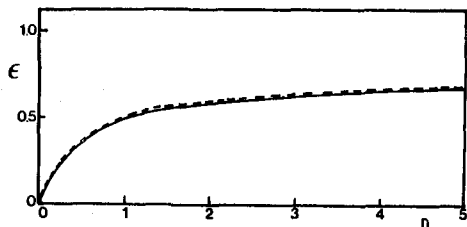


図-6 図-5の断面 ($Z_0 = 1$)

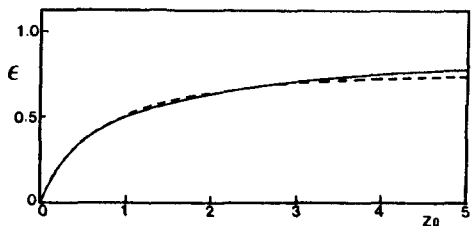


図-7 図-5の断面 ($D = 1$)

参考文献

- 1) 江藤剛治・栗田秀明：貯留施設を持つ水処理系による雨天時汚濁負荷の削減効果の理論，土木学会論文集，No. 375/II-6，pp. 281~289，1986.11.
- 2) 江藤剛治・栗田秀明：流入量と処理水量が等しい場合の雨水滞水池の効果についての近似理論，土木学会論文集投稿中.
- 3) 栗田秀明・金川正晴・田村 譲：雨水滞水池の効果に関する理論の実用化，衛生工学研究論文集，第23号，1987.1.
- 4) Goforth, G.E., Heaney, J.P. and Huder, W.C. : Comparison of Basin Performance Modeling Techniques, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol. 109, No. EE5, pp. 1082-1098, 1983.
- 5) Loganathan, V.G., J.W. Delleur and R.I. Segarra : Planning detention storage for stormwater management, Journal of Water Resources Planning and Management Div., Proc., ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 382-398, 1985.