

都市河川のCSO負荷量の観測とそのモデル化について

大成建設株式会社 正会員 ○中西 祐貴
名古屋工業大学 フェロー会員 富永 晃宏

1. はじめに 自己水源を持たず他の河川からの導水と流域の下水処理水が主な水源であるような都市河川において、流域に合流式下水道が整備されている場合、雨天時に雨水吐越流（以下CSO）が流入し、水質悪化の原因となっている。このような都市河川の浄化を考える上では、CSOの負荷の寄与率を的確に評価し、その削減策の効果を検証することが必要である。本研究では、CSO流出特性を得るために、雨天時の流出量のほとんどがCSO流出量であるH川の一流域において、現地観測と流量モニタリングを実施した。その結果を用いてCSO汚濁負荷量を推定する流出モデルを構築し、貯留・浸透によるCSO汚濁負荷の削減効果を検討した。



図-1 観測地点

2. 現地観測・流量モニタリング 現地観測は図-1に示す流域で実施した。この区間は晴天時にはS川からの導水のみであるが、雨天時に6か所の雨水吐口からCSOが流入する。強雨時にはA地点付近にあるポンプ所からY川への排が行われる。河道内の3か所に水位計を設置し2分間隔で水位を計測した。A地点では導水量の確認を、下流のB、C地点は断面形状が一樣な直線区間で80m離れており、この2点の水位差から水面勾配を計測できる。まず平水時に電磁流速計を用いて流量計測を行ない、B、C地点間の水面勾配 I_s を用いた Manning 式を適用して10回の計測から粗度係数 $n = 0.0325$ を得た。この値を出水時においても一定として使用し、2点間の水面勾配と水深を用いて2分間隔で連続的に流量モニタリングを行なった。雨量計はN市の雨量観測所届く時に設置した雨量計を用いて、ティーセン法を用いて対象流域の流域面積 (1.86km²) の流域平均降水量を求めた。採水は急激な濃度変化に対応するために500mlのペットボトルを直接河川中に入れて最頻時に2分間隔で採水を行なった。採取したサンプルは速やかにBOD試験(圧力法)とSS試験(ガラス繊維ろ紙法)を実施した。

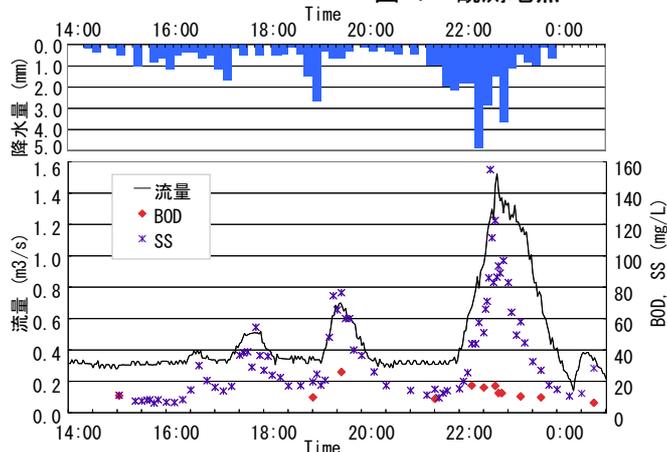


図-2 降水量, 流量, BOD, SSの観測結果例

3. 雨天時観測結果 雨天時観測は5回実施し、CSO流出回数は合計9回であった。その結果を表-1に示す。CSOによるBOD, SS負荷量は、流量に濃度を掛けて求めた負荷量から導水に含まれる負荷量を差し引いている。図-2に降水量と流量, BOD, SSの時系列変化の、図-3にCSO量とCSOによるBOD, SS負荷量の時系列変化の一例を示す。一連の降雨の後に4回のCSO流出があったことがわかる。BODは1回目と2回目のCSO流出の分析をしておらず不明であるが、BODおよびSSはCSO流出と同時に高い値を示している。3回目のCSO流出時のBODは4回目のいずれの値よりも高く、先行するCSO流出の方が濃度が高いと考えられる。負荷量で見るとBODの3回目と4回目の負荷流出量のピーク値は流出量が大きく異なるにもかかわらずほぼ同じ値をとっており、流出履歴の影響を大きく受けることが明らかとなった。一方SSはほぼ流量に比例した変化を示している。

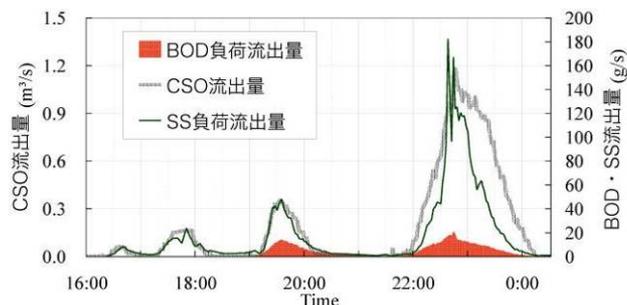


図-3 CSO流出量, 汚濁負荷量

一連の降雨の後に4回のCSO流出があったことがわかる。BODは1回目と2回目のCSO流出の分析をしておらず不明であるが、BODおよびSSはCSO流出と同時に高い値を示している。3回目のCSO流出時のBODは4回目のいずれの値よりも高く、先行するCSO流出の方が濃度が高いと考えられる。負荷量で見るとBODの3回目と4回目の負荷流出量のピーク値は流出量が大きく異なるにもかかわらずほぼ同じ値をとっており、流出履歴の影響を大きく受けることが明らかとなった。一方SSはほぼ流量に比例した変化を示している。

4. CSO流出モデル この流域と周辺の地区からは強雨時にポンプ所を通じてY川に排水されるが、ポンプ所への流入量の時間分布が正確にはわからないので、半年間にわたる流量モニタリングから得られたCSO流出量と降水量の関係からモデルの構築を行なった。降雨に対する10分間流出高 q (mm)をその時点から60分前ま

キーワード 流量観測, 降雨流出, 合流式下水道, 汚濁負荷, 水質

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 都市社会工学科 TEL 052-735-5490

での10分間降水量 r を用いて次のように定義し、重ね合わせることで求めた。

$$q(t) = \sum_i^6 a_i r(t - i\Delta t) \tag{1}$$

$$a_1 = 0.162, a_2 = 0.283, a_3 = 0.213, a_4 = 0.155, \\ a_5 = 0.117, a_6 = 0.070, \Delta t = 10 \text{ min}$$

a_1 から a_6 の係数は合計を1としCSO流出量と最も相関が高くなるように設定したものである。この10分間降雨流出高 q (mm)と10分間CSO流出量 Q_c (m³)との関係を図-4に示す。

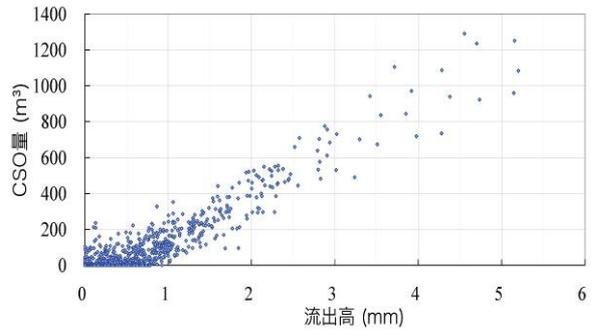


図-4 10分間降雨流出高とCSO流出量の関係

これから流出率を算定して次式が得られた。

$$Q_c = 1000fA(q - 0.50), f = 0.138 \tag{2}$$

ここに f は流出率、 A (km²)は流域面積である。この流域ではポンプ排水があるため流出率は著しく低く、また10分間流出高 q が0.50mmを上回るとCSO流出が発生すると考えられる。

5. 汚濁負荷流出量モデル

BOD, SS負荷流出量は一般にCSO流出量に一定の係数を掛けた値の総和として求められるが、流出量が大きくなると、負荷流出量は途中でピークに達し、減水期には著しく負荷量が低下するループ現象が見られた。この現象を再現するために、CSO流出量の時間勾配を用いて次のように負荷量を算定することとした。

$$B_i(t) = \int_0^t \alpha_i \left(\frac{dQ_c}{dt} \right) dt : t < t_{max}, B_i(t) = B_{i,max} : t_{max} < t < t_p,$$

$$B_i(t) = B_{i,max} + \int_{t_p}^t \alpha_i \left(\frac{dQ_c}{dt} \right) dt : t_p < t \tag{3}$$

ここに、 B_i は負荷量、 α_i は係数、 $B_{i,max}$ は流出量上限値、 t_{max} は上限値に達する時間、 t_p はCSO流出が

ピークに達する時間であり、 i はBOD, SSを意味する。 t_{max} は t_p より小さい範囲でのみ発生し、上限値に達しない場合は全時間に左端の式が適用される。右端の式はCSO流出量の減少が始まると同時に

負荷流出量が減少していくことを意味する。これらの係数は流出回数によって減少することが確認されたため、流出回数ごとに表-2のように定めた。なお、先のCSO流出終了から12時間以内に次のCSO流出が始まった場合に連続降雨と定義した。観測時のCSO流出量、BOD・SS負荷流出量について、以上のモデルを使って降雨量から推定された結果と比較したのが図-5である。6月15日の1回目と2回目はBOD量の実測値がない。BOD・SS流出負荷量は概ね再現できているが、流出が少ないときに過大に、流出が大きいときに過小となる傾向がみられる。

このCSO流出モデルと汚濁負荷流出量モデルを用いて各戸貯留あるいは分流化によって流出高を5%、10%、15%カットする負荷削減のシナリオを設定し、2007年～2009年の3年分の汚濁負荷量を推定した。1年間での汚濁負荷削減効果を表-3に示す。CSO流出率とBOD・SS負荷流出削減率はほぼ同じ割合となっている。流出高のうち15%を流出させないようにすると汚濁負荷の流出を約23%カットすることができる。このことがわかる。

6. おわりに

本研究ではCSO流出量とその削減策を得るために、現地観測と水位モニタリングを行いCSO流出特性を得た。それを用いて簡単な2種類直列の流出シミュレーションモデルを構築し、当該流域からの汚濁負荷流出量と、貯留による流出汚濁負荷のインパクトを得ることができた。流域で降雨の貯留を進めることで都市河川の水環境改善がなされることに期待したい。

参考文献 1) 中村栄一(1980)：合流式下水道対策の検討(第II報) -汚濁流出シミュレーション, 第16回衛生工学研究討論会講演論文集, p154-159

表-2 汚濁負荷流出量モデルの係数

流出回数	1回目	2回目	3回目	4回目
α_{BOD} (g/m ³)	55.0	21.1	12.6	6.35
α_{SS} (g/m ³)	97.4	75.7	47.9	41.2
$B_{BOD,max}$ (g/s)	53.3	29.2	21.7	16.7
$B_{SS,max}$ (g/s)	367.0	330.0	293.0	257.0

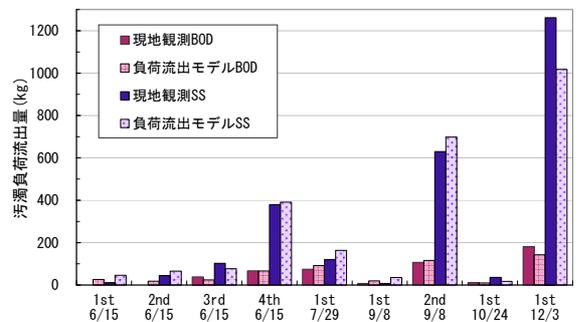


図-5 汚濁負荷流出量モデルの計算値

表-3 雨水貯留による1年間での汚濁負荷削減効果

ケース	現況	流出高 -5%	流出高 -10%	流出高 -15%
CSO量 (x1000m ³)	123.7	112.9 (-8.7%)	102.5 (-17.2%)	92.3 (-25.4%)
BOD負荷量 (Kg)	5971	5553 (-7.0%)	5120 (-14.2%)	4628 (-22.5%)
SS負荷量 (Kg)	18298	16817 (-8.1%)	15335 (-16.2%)	13839 (-24.4%)