

1. 序

現在の都市排水システムは、下水道未整備の場合は勿論のこと、合流式あるいは分流式で下水道整備が行われている場合にも雨天時には大なり小なりの汚濁負荷の放流を余儀無くされている。今までの雨天時汚濁流出特性に関する研究は多くが流量との関係を明らかにする方向で行われてきた^{1)~3)}。このような時間を追った言わば微分型の関係を把握することも重要なことには相違ないが、水質汚濁面から都市排水システムの評価を行う場合には年間ベースでの負荷量収支の議論が必要であり、ひと雨による総流出負荷量と総降雨量あるいは総流出量といった積分型の関係を求めるほうがマクロではあるが評価手法としては秀れていると考えられる。

ひと雨によってもたらされる流出負荷量は、排水区に固有な条件と、降雨量、降雨強度、先行降雨条件などのいわゆる水文条件とに大きな影響を受けることが知られているが⁴⁾、多くではとくに先行降雨がどのような形でひと雨の流出負荷量に影響を及ぼすのか検討を行ったので報告する。

2. 調査概要

下水道整備率が100%の排水区を対象に、合流式下水道の場合には13ヶ所、分流式下水道の場合には4ヶ所の試験排水区を概定し、雨天時最低10回、晴天時最低3回(合流式のみ)の連続観測を行い、降雨量(5ないし10分間隔)、流出量、水質、先行降雨などを測定した。ちなみに1回の連続観測におけるサンプル数は平均で約50本、晴天時は30分間隔で48本であった。

3. ひと雨負荷量の特徴

合流式下水道の場合には常に晴天時分の負荷流出があるが、晴天時の負荷量と雨天時の負荷量を比較すると一般的には図1のようになることが多い。すなわち、雨水流出期間中に晴天時の負荷量を上回った分を $\int +$ 、逆に下回った分を $\int -$ とすると、BODの場合には $\int + = \int -$ 、COD(Mn)の場合には $\int + > \int -$ 、SSの場合には $\int - \approx 0$ となる。そこで一回の降雨時におけるひと雨負荷量を図1の $\int +$ 分の負荷量と定義して総流出量と比較すると図2のようになる。この図にはBODしか載せていないが、他の項目についても類似の傾向があり、曲線は一般に上に凸の曲線となる。

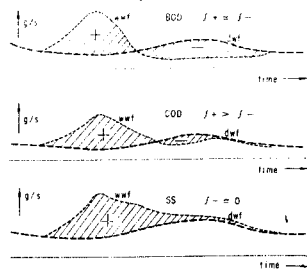


図1 雨天時合流式下水道のBOD、CODおよびSSの負荷量特性の比較

4. 先行降雨の影響

先行降雨条件がひと雨負荷量に及ぼす影響を検討するには汚濁負荷の流出と堆積についての検討が必要である。

流出負荷量を L [kg/ha/hr]、堆積負荷量を P [kg/ha]、流出量を Ve [mm/hr]、 k [1/h]を定数とすると汚濁負荷の流出に関する運動方程式は

$$L = k \cdot P \cdot Ve \quad (1)$$

で表わされる⁵⁾。Pに関する連続式は

$$dP/dt = i - L \quad (2)$$

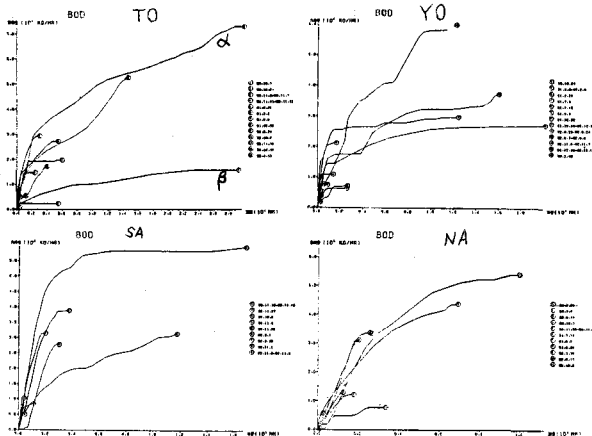


図2 累積雨水流出口と累積ひと雨負荷量の関係 (ただし i : 流入負荷量 [kg/ha/hr])

で表されるわけであるが、降雨期間中の流入負荷量は無視し得るほど小さいと考えれば②式は

$$dP/dt = -L \quad \text{③} \quad \text{従って} \quad P = P_0 \cdot \exp(-k \cdot Re) \quad \text{④}$$

ただし、 P_0 : 初期堆積負荷量 [kg/ha], Re : 累積流出量 ($= \int Re dt$) [mm]
 となって、流出終了時の堆積負荷量 P が④式によって与えられる。ひと雨負荷量は $\int L dt = P_0 - P$ であるから
 $\int L dt = P_0 - P = P_0 (1 - \exp(-k \cdot Re)) \quad \text{⑤}$

となる。①式における負荷流出係数 k は、④式を用いて実測値から推定することが可能である。図3は5日以上無降雨が続いたときの雨天時実測負荷量と推定初期堆積負荷量から④式を用いて k 値の推定を行ったものである。図3からわかるように、 k 値は排水区条件に左右されるものであって、同一排水区であれば水文条件の如何に拘らず一定の値を示す。図2から推定出来ることとして堆積負荷量 k は上限値 P_m が存在するといことが挙げられる。事実図2の中で Re が大きい曲線はすべてこの傾向を示している。負荷量の供給速度を a [kg/ha/hr] とすると、④の状態にあった堆積負荷量は長時間後には P' まで回復するわけであるが、この場合 P' は次のようにして求められる。

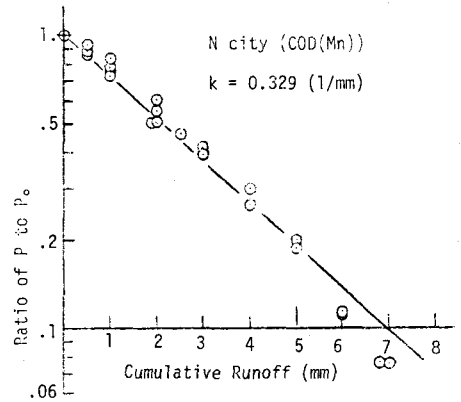


図3. 負荷流出係数 k 値の推定法

$$\text{連続式: } dP'/dt = a \cdot \frac{P_m - P'}{P_m} \quad \text{① ; 初期条件 } P'_0 = P_0 \cdot \exp(-k \cdot Re) \quad \text{②}$$

従って、補給量 a の積分を $A = \int a dt$ とおけば①、②より P' が求まり

$$P' = P_m \cdot [1 - (1 - \frac{P_0}{P_m} \cdot \exp(-k \cdot Re)) \cdot \exp(-A/P_m)] \quad \text{③}$$

となる。 $P_0 = P_m$ の場合は次のようになる。

$$P' = P_m \cdot [1 - (1 - \exp(-k \cdot Re)) \cdot \exp(-A/P_m)] \quad \text{④}$$

従って先行降雨の影響は、負荷流出係数 k 、先行降雨による流出量 Re 、負荷供給速度 a 、先行降雨終了時からの経過時間 t および堆積負荷容量 (堆積負荷量の上限値) P_m という多くのパラメーターを関与して表われるものと考えられる。

表1はBODについて P_m および a をまとめたものである。BODの場合には図1より晴天時汚水による負荷供給のみを考えればよいわけであるから、 a は晴天時の平均負荷量とした。

$k = 0.3$ (1/mm) の場合、 $a/P_m = 0.1$ であれば $Re = 20$ mm によって99.8%の負荷流出があっても、半日で70%まで、1日で91%まで、2日で99.2%まで堆積負荷の回復が行われる。 $a/P_m = 0.02$ であっても $Re = 20$ mm を対象とすれば、5日間で99.2%まで回復が行われる。従って先行降雨条件を問題とする場合でも、わが国の場合には高々5日前までの降雨を対象とすれば十分であることがわかる。

Table.1 P_m and a (loading supply rate)

	P_m (kg/ha)	a (kg/ha/hr)	a/P_m
SA	6.0	3.3/24	.023
KA	9.0	9.8/24	.045
YO	6.0	14.6/24	.101
TO	7.5	10.0/24	.056
NA	6.0	6.3/24	.044
KY	25.	56./24	.093
OS	15.	9.5/24	.026
HI		5.0/24	
KI	8.	.8/24	.004
FU	16.	34.1/24	.089

5. まとめ

ひと雨負荷量に及ぼす先行降雨条件の影響を言う場合には、単に先行降雨量とそれからの経過時間だけを調べても不十分であり、汚濁負荷の流出と堆積を一連のパターンとして認識することが必要である。

(参考文献)

- 1~3, 山口, 松原, 中村, 山守, 杉山: 都市域からの雨天時汚濁流出(その1~3); 29,30回年講, S.49,50
- 4, 中村, 工藤: 合流式下水道対策の検討(雨水および汚濁負荷の流出特性); 15回衛工討論会, S.53
- 5, U.S. Army Corp of Engineers: Urban Storm Water Runoff, STORM, 723-58-L 2520, 1974