

都市域の裸地・草地における雨水・汚濁負荷の流出特性と流出モデル

愛媛大学大学院 学生員 ○重田尚秀
愛媛大学工学部 正 員 渡辺政広
愛媛大学大学院 学生員 堀江展弘

1. はじめに

これまで、都市域の不浸透流出面（屋根面・道路面，表-1）を対象に，雨水・汚濁負荷の流出特性と流出モデルについて検討を進めてきている．本文では，裸地・草地の試験流出面（Small Bare Land，表-1）を設定して雨水と汚濁負荷の流出観測を行い，都市域の裸地・草地における雨水・汚濁負荷の流出特性と流出モデルについて検討を進めた．

2. 雨水・汚濁負荷流出の観測

愛媛大学（松山市文京町3番）構内の裸地・草地を試験流出面に選び，雨水と汚濁負荷の流出観測を行った（図-1）．

雨水および汚濁負荷の流出の観測は，集水区域（26.9 m²）の下流端で行った．汚濁負荷解析の対象とした水質項目は，SS，COD（D-COD，T-COD）で，それらの濃度は下水試験方法¹⁾に従って測定した．降雨量は，試験流出面の傍に受水マス（直径20 cm）を設置し，5分間隔で観測した．

3. 雨水・汚濁負荷の流出特性と流出モデル

3.1 雨水流出

(1) 雨水損失

有効降雨を算定するには，浸透損失と凹地貯留を算定する必要がある．

浸透損失には Horton の浸透能式を，凹地損失には Linsley らの指数関数型の近似式²⁾を適用する．

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot \exp(-kt) \quad (1), \quad D_s = S_d \left\{ 1 - \exp(-P_e/S_d) \right\} \quad (2)$$

ここに， f ：浸透能， f_c ：下限浸透能， f_0 ：初期浸透能， k ：低減係数， t ：時間， D_s ：累加凹地貯留量， S_d ：最大凹地貯留量， P_e ：累加余剰降雨量，である．

(2) 雨水流出モデル

流出面上の流れは，kinematic wave 流れとして取り扱う．

(3) モデルの適用性

雨水流出の計算ハイドロを実測ハイドロと対比した一例を，図-2 に示す．ここに，試験流出面の Manning の粗度係数は 0.1 m^{-1/3} sec である．これらより，本モデルの適合性が高いものであることがわかる．

3.2 汚濁負荷流出

(1) 汚濁負荷流出モデル（基礎式）

表-1 都市域の代表流出面

Surface Flow Planes	Pervious / Impervious	Rainfall Loss
Steep Slope	Impervious	None
Flat Slope		Depression Storage
Road and Parking Lot		
Small Bare Land	Pervious	Depression Storage and Infiltration
Large Bare Land		

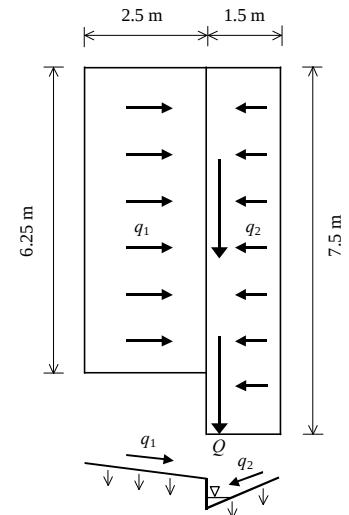


図-1 裸地・草地の試験流出面

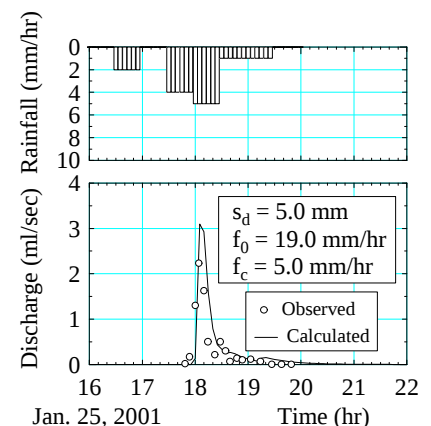


図-2 計算値と実測値の比較
（雨水流出モデル）

初期堆積汚濁負荷量，雨水・汚濁負荷流出，裸地・草地，合流式下水道流域，都市流出
渡辺政広（〒790-8577 愛媛大学工学部環境建設工学科，Tel. 089-927-9828，Fax 089-927-9831）

流出面に堆積した汚濁物質の降雨による流出の式および連続の式は、次式のように表される。

$$L_S = a_L k P_S r_e^b A \quad (3), \quad dP_S / dt = -L_S / A \quad (4)$$

ここに、 L_S ：汚濁負荷流出量、 P_S ：流出面上の残存汚濁負荷量、 r_e ：有効降雨強度、 b ：べき指数 ($b \geq 1$)、 k ：汚濁負荷流出係数、 a_L ：汚濁負荷流出量についての単位換算係数、 A ：排水（集水）面積、である。

(2) 汚濁負荷流出特性

累加汚濁負荷流出量は、残存汚濁負荷量 P_S と初期堆積汚濁負荷量 P_{S0} を用いると、次式のように表される。

$$\int_0^t L_S dt = P_{S0} - P_S = P_{S0} \left\{ 1 - \exp \left(-a_L k A \int_0^t r_e^b dt \right) \right\} \quad (5)$$

上式は、累加汚濁負荷流出量は累加（有効）降雨量が大きくなるにつれて指数関数的に増大し、やがて P_{S0} に近づくことを示しているが、図-3 より、本式が試験流出面においても成立していることが分かる。

ところで、汚濁負荷流出濃度 C_S は、次式のように表される。

$$C_S = a_c \frac{L_S}{Q_S} = \frac{a_c a_L}{a_Q} k P_S r_e^{b-1} \quad (6)$$

ここに、 Q_S ：雨水流出流量、 C_S ：汚濁負荷流出濃度、 a_Q 、 a_c ： Q_S 、 C_S についての単位換算係数、である。

上式は、降雨期間中における P_S は常に減少しているため、 $b=1$ の場合、降雨期間中の C_S は常に減少すること、一方、 $b>1$ の場合、 C_S は降雨強度の増減に伴って変化することを示している。図-4 より、溶解性汚濁（D-COD）では $b=1$ 、粒子性汚濁（SS）では $b>1$ （例えば、 $b=2$ ）となるべきことが分かる。

(3) モデル・パラメータの検討

上述した汚濁負荷流出モデル（式(3) および 式(4)）を実流域の裸地・草地面に適用するに当たり、モデル・パラメータ k および初期堆積汚濁負荷量 P_{S0} がどの程度の値をとるかを明らかにしておく必要がある。ここでは、試験流出面で観測した4つの降雨・流出を選び、D-CODおよびSSを対象として、 k および P_{S0} の組合せを種々に変え、式(3)、(4)による汚濁負荷流出シミュレーションを行い、シミュレーション結果を実測結果と対比して、各出水で共通な k の適値と、各出水における P_{S0} の適値を求めた。

図-4 に計算結果の一例を示す。これらより、試験流出面における k の適値は、D-COD では 2 mm^{-1} 程度に、SS では 0.2 mm^{-1} 程度になることが確かめられた。

参考文献：1) (社)日本下水道協会：下水試験法-1984年版-、(社)日本下水道協会、1985年。

2) Linsley, R. K. et al.: Applied Hydrology, McGraw-Hill, pp. 268 ~ 271, 1949.

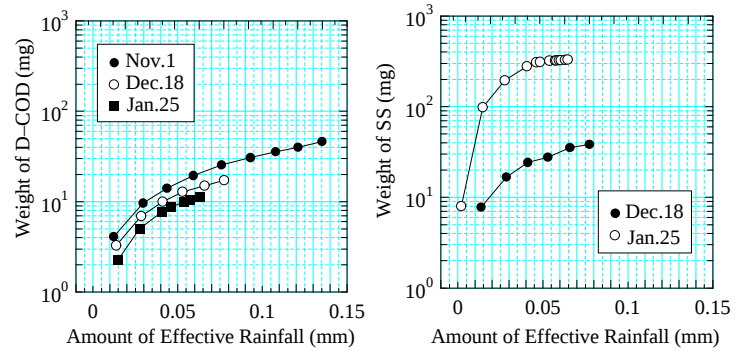


図-3 累加汚濁負荷流出量～累加（有効）降雨量の観測結果

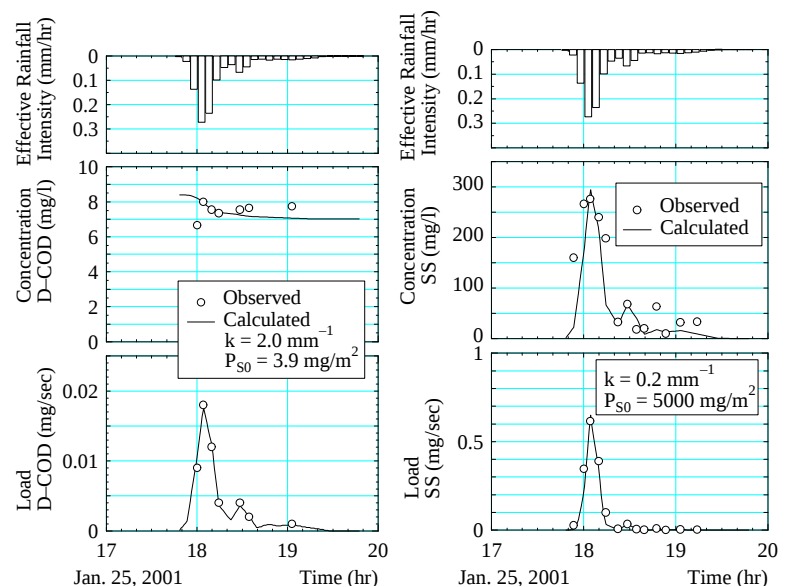


図-4 計算値と実測値の比較（汚濁負荷流出モデル）