

神戸大学工学部 正会員 神田 徹
 神戸大学工学部 正会員 神吉 和夫
 神戸大学大学院 学正員 ○上村 成生
 神戸大学工学部 学生員 前田 康宏

1. はじめに

海外で汎用されているSWMM (XP-SWMM) を我が国で適用する場合、パラメータの同定が必要である。本稿では最適同定手法としてマーカート法を試み、所与のパラメータをもつ単純な仮想流域において、パラメータの感度分析を踏まえてパラメータ初期値および降雨条件による最適値への収束性を検討する。

2. SWMMのパラメータ¹⁾

SWMMでは地表面流出の解析にはRUNOFFブロックを、管渠内流れの解析にはEXTRANを用いる。仮想流域は図-1に示すような1つのサブキャッチメントのみからなる単純斜面とし、さらにサブキャッチメントを3つのサブエリアで表現する。各サブエリアに表-1で示すRUNOFFブロックの基礎式を用いる。

雨水流出に関するパラメータは表-2のようであり、実流域のデータや既往の研究を参考に設定した仮定値を与えた。

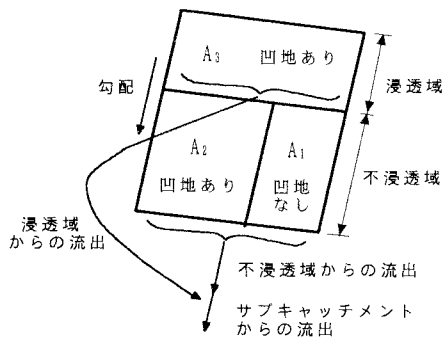


図-1 サブキャッチメントの分割

表-1 RUNOFFブロックの基礎式

$$\text{連続式: } \frac{dV_{sub}}{dt} = A_{sub} \times i - Q_{sub} \quad (1)$$

$$\text{運動方程式: } Q_{sub} = W_{sub} \frac{1}{N} (d_{sub} - d_p)^{5/3} I^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{浸透能: } f_p = f_{\infty} + (f_0 - f_{\infty}) \exp(-kt_p) \quad (3)$$

V_{sub} : サブエリア上の水量, A_{sub} : サブエリアの面積, d_{sub} : サブエリアの水深, N : 地表面の等価粗度係数, i : 有効降雨強度 (= 降雨強度 - 浸透能), Q_{sub} : 流出量, W_{sub} : サブエリアの幅, d_p : 凹地貯留の深さ, I : 地表面勾配, f_p : 浸透能, f_0 : 初期浸透能, f_{∞} : 最終浸透能, k : 浸透能の低減係数

表-2 雨水流出に関するパラメータ

記号	パラメータ	単位	仮定値
Zd	直接流出域の割合	%	25
Im	不浸透面積率	%	60
N_I	等価粗度 (不浸透域)	$m^{-1/3}S$	0.01
N_P	等価粗度 (浸透域)	$m^{-1/3}S$	0.1
d_{pI}	凹地貯留 (不浸透域)	mm	1.5
d_{pP}	凹地貯留 (浸透域)	mm	4
f_0	初期浸透能	mm/hr	20
f_{∞}	最終浸透能	mm/hr	5
k	浸透の低減係数	sec^{-1}	0.0012

3. マーカート法²⁾

ここでは、式(4)で表される誤差の二乗和形式の評価関数の最小化を考える。ニュートン法では評価関数 $f(x)$ について x^k ($x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, k : 反復回数) の近傍で2次関数近似し式(5)により順次最小点を求めていくが、マーカート法では式(5)右辺の2階偏微分係数 $Q = \nabla^2 f(x^k)$ を式(6)で置換し、 $f(x)$ が最小となるよう λ を定める。マーカート法の実行にはXP-SWMMに付属するPESTを使用する。

$$f = \sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{ci})^2 \quad \cdots(4), \quad x^* = x^k - \{ \nabla^2 f(x^k) \}^{-1} \nabla^T f(x^k) \quad \cdots(5), \quad Q = Q + \lambda I \quad \cdots(6)$$

ここに、 f : 評価関数, Q_{oi} : パラメータ仮定値による流出量計算値, Q_{ci} : 流出量計算値

Tohru KANDA, Kazuo KANKI, Shigeo UEMURA, Yasuhiro MAETA

4. 適用方法と結果

降雨条件は Case1: 降雨強度 10mm/hr, Case2: 同 20mm/hr, Case3: 同 40mm/hr (すべて継続時間 1hr) を与える. 対象パラメータは 1 種類のみとし他の 8 種類のパラメータは仮定値で固定する. 感度分析は仮定値を基準に式(4)による評価関数形と流出に与える影響度について, マーカート法は仮定値を最適値とした場合のパラメータ値の収束性について検討した.

i) 感度分析 評価関数形は, 仮定値を底にした U 字型, S 字型またはほとんど変化のない一文字型となった (表-3). また流出に与える影響度が大きいパラメータは, 不浸透面積率, 不浸透域の等価粗度, 不浸透域の凹地貯留の順であり, それらに比べ残りのパラメータは相対的に影響がかなり小さい (表-4).

ii) 初期値の影響 パラメータ初期値から仮定値への収束性について, 表-5 に示すように直接流出域の割合と不浸透面積率はパラメータ全域で良好な収束性をみせたが, その他のパラメータは仮定値から遠い初期値ほど収束しにくく計算回数も増大した. また降雨条件による収束性については, Case1~Case3 でほとんど傾向が変わらないパラメータ (不浸透域に関するもの一網掛け部) と Case1 よりも Cas2,3 の方が仮定値に収束しやすいパラメータ (浸透域に関するもの) の 2 種類あり, 降雨強度が関係している. 特に浸透域のパラメータは評価関数形が一文字型の部分を初期値に選ぶと収束しなかった.

同じ流域において, 実測の降雨量・流出量データにこの同定法を適用した. 不浸透面積率, 不浸透域の等価粗度, 不浸透域の凹地貯留の 3 パラメータについて

同定した結果, 図-2 に示すように初期値 (仮定値) より収束値のハイドログラフの方がより実測ハイドログラフに近い形へと改善されている.

5. おわりに

今後, 実流域へのマーカート法の適用を本格的に行い, SWMM のモデルパラメータの実用的推定法を検討する予定である.

<参考文献>

1) WP Software INC. : XP-SWMM

Reference Manual, 1993.

2) John Doherty, et al. : PEST Manual, Watermark Computing, 1994.

表-3 感度分析—評価関数形

パラメータ	Case1	Case2	Case3
直接流出域の割合	U	U	U
不浸透面積率	U	U	U
不浸透域の等価粗度	U	U	U
浸透域の等価粗度	—	U	U
不浸透域の凹地貯留	S	S	S
浸透域の凹地貯留	—	S	S
初期浸透能	—	S	S
最終浸透能	—	S	S
浸透の低減係数	—	U	U

表-4 感度分析—流出に与える影響度

パラメータ	Case1	Case2	Case3
直接流出域の割合	△	×	×
不浸透面積率	◎	◎	◎
不浸透域の等価粗度	◎	◎	◎
浸透域の等価粗度	×	△	○
不浸透域の凹地貯留	○	△	△
浸透域の凹地貯留	×	×	△
初期浸透能	×	×	△
最終浸透能	×	×	△
浸透の低減係数	×	×	×

◎: 特に良く影響する, ○: 良く影響する
△: 一部良く影響する, ×: ほとんど影響しない

表-5 マーカート法—初期値による収束性

パラメータ	Case1	Case2	Case3
直接流出域の割合	◎	◎	◎
不浸透面積率	◎	◎	◎
不浸透域の等価粗度	△	△	△
浸透域の等価粗度	×	△	△
不浸透域の凹地貯留	△	△	△
浸透域の凹地貯留	×	△	△
初期浸透能	×	○	○
最終浸透能	×	○	○
浸透の低減係数	×	○	○

◎: 全域で収束, ○: 極端な値を除いて収束
△: 仮定値の近傍のみ収束, ×: 全て収束しない

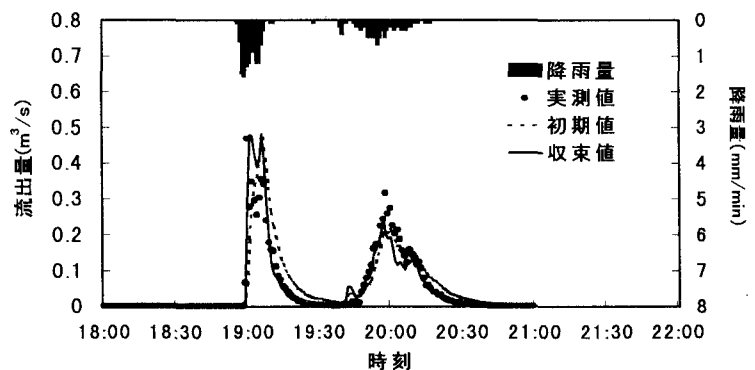


図-2 実測値による同定の例