

1. まえがき 代表的洪水流出解析法と目される雨水流法・貯留関数法をとりあげ、数学的最適化手法を用いて両モデルの最適同定を行い、斜面流の抵抗則、最適定数と流域モデル構成法との関係、および両モデルの相互関連性について検討した結果を報告する。

2. 対象流域と流域モデル 主対象は滋賀県東部に所在する愛知川自然山地流域(古生形, 108 km²)である。1/2.5万の地形図に記載されている河道網(図1)について地形4則はほぼ成立しており、Strahler方式による最高次数は $u=4$ である。この河道網に基づき、流域を u 次集水域とその残流域に細分したモデルを u 次流域モデルとすると、1次流域モデルのブロック数は59となる。なお各モデルの河道長は、 $u \geq 2$ のとき (u 次河道長) + ($u-1$ 次主河道長) とした。

3. 有効雨量 検討には、i) 単峰型大出水(昭49.7, $Q_p=6.3 \text{ m}^3/\text{km}^2$)、ii) 単峰型中出水(昭50.7, $Q_p=4.1 \text{ m}^3/\text{km}^2$)、iii) 多峰型小出水(昭52.9, $Q_p=2.6 \text{ m}^3/\text{km}^2$)を選んだ。地下水流出は指数関数的に減水するものとして、降雨終了時まで逆挿し、この点と立上り点を結んで直接流出高を近似的に求め、保留量曲線(図2)から両モデルとも同一の有効雨量を推定した。また流域平均雨量は等雨量線図から求めた。

4. 流出モデルと最適同定法 数学的最適化手法であるSP(基準化Powell)法を用い、(1)式の下で最適同定を行った。雨水流法では(2)式の斜面流定数 $[k, p]_{\text{opt}}$ 、貯留関数法では(3)式の $[K, P, T_r]_{\text{opt}}$ を流域一様の定数として探索した。また1~3次流域モデルの分布型貯留関数の計算では、河道の貯留関数は考えず、河道ではその上流端ピーク流量の伝バ時間だけ洪水波形が遅れるものとして扱った。

5. 最適定数

(1) 4次流域モデル: 最適定数による再現結果の一例を図3に示すが、適合性はきわめて良好である。雨水流法の種々の中に対する誤差を吟味して図4を得た。大出水の斜面流としては、尾流型表面流($p=1/3$)、あるいは中周流($p=1$)は適切でなく、Manning型表面流($p=0.6$)を想定するのが妥当であるといえよう。このことは貯留関数の P についてもあてはまる(図5)。また大中出水の最適定数はほとんど同じであり、大中出水に対しては同一モデル定数を用いて解析してもよいことがわかった。小出水では p または P は1に近いが(図5)、これは中周流出が卓越していたためとみられる。(2) 流域モデル次数と最適定数(図6): 大出水では、次数による p_{opt} , P_{opt} の変化は小さく、流域を細分化していても斜面流にはManning則が適用できるとみてよい。また、

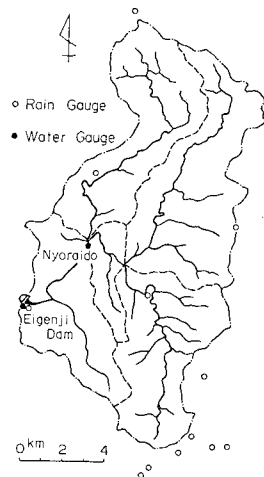


図1 愛知川流域の河道網 (1/2.5万地形図)

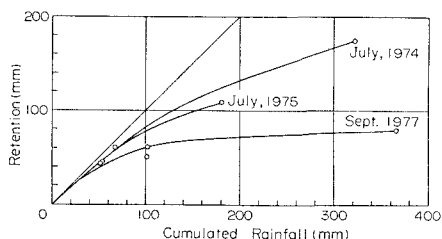


図2 累加雨量～累加保留量曲線

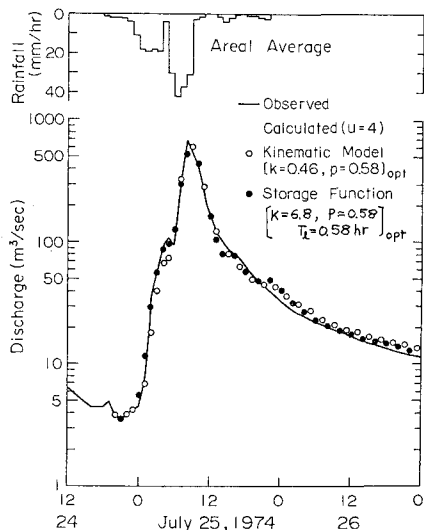


図3 最適定数による解析例

雨水流法の k_{opt} , 貯留関数法の $T_{e, opt}$ が次数に対して, 等比級数的に変化していることが注目される。

6. 考察 (1) 斜面流の抵抗則: 愛知川流域の3出水の他に, 下狩川丘陵山地流域 (1.3 km²) の $Q_p = 4 \sim 7$ m³/s/km² の3出水, 天神川市街地流域 (2.6 km²) の $Q_p = 7 \sim 14$ m³/s/km² の3出水についても検討して図5を得た。雨水流法の p と貯留関数法の P は同等とみられる。とくに大中出水に対しては (4) 式の関係が認められる。 (2) 貯留関数法の K , T_e と雨水流法の定数:

斜面長分布がガンマ分布で表わされるものとする, ピーク流量時の流域平均貯留高は, 河道の効果を見無視して (5) 式で近似できる。また貯留関数の遅れ時間 T_e は, ピーク流量発生条件から (6) 式のように推定でき, 洪水到達時間・有効降雨波形と密接な関係にある。これから, 雨水流法の定数と貯留関数の K , T_e との相互関連性として (7), (8) 式が推論される。大出水について, $\phi = P = 0.6$ のときの最適定数を調べて 図7, 8 を得た。若干のバラツキはみられるが, これに平分線を挿入して同図中の式をあてはめた。図7中の比例定数は, (単位換算係数)/(1+p) となっていることが注目される。また $T_{e, opt}$ はいずれもデータの単位時間より小さくなったが, 今後大流域における検討が必要である。 (3) 仮定 [$R = \text{一定}$] から得られる関係式: 貯留関数の [K , P]_{opt} の次数による変化は小さいが (図6), これは (5) 式で [$R = \text{一定}$] とおけることを意味する。この仮定より得られる式は, lumping に伴う表面流定数の変化 (図9), あるいは雨水流法の中に対応する k_{opt} をうまく説明している (図4破線)。

また貯留関数法でも同様の式が得られ, P の変化に対する K_{opt} を説明できることがわかった。これは物理性を考慮した最適同定法が開発できることを示唆する。

7. あとがき

今後大流域における検討を行い, モデル定数の統合化を行いたいと考えている。

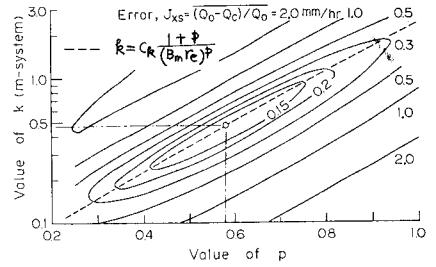


図4 雨水流法の応答面 (昭49.7出水)

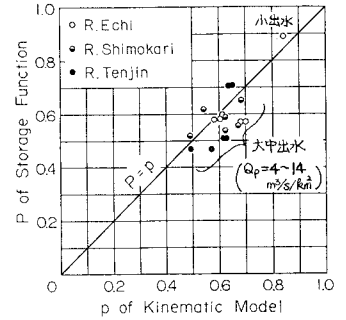


図5 雨水流法の中と貯留関数のP

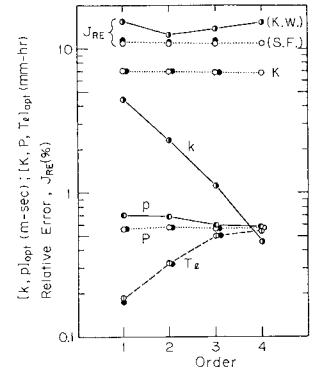


図6 流域モデル次数と最適定数 (昭49.7出水)

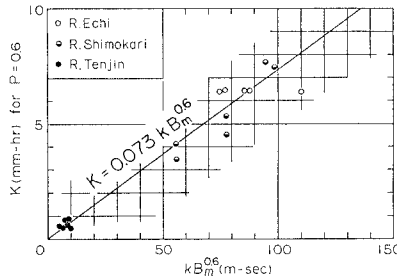


図7 貯留関数のKと雨水流法の良 (P=0.6)

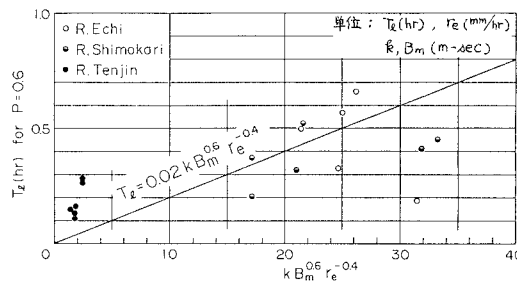


図8 貯留関数のT_eと雨水流定数

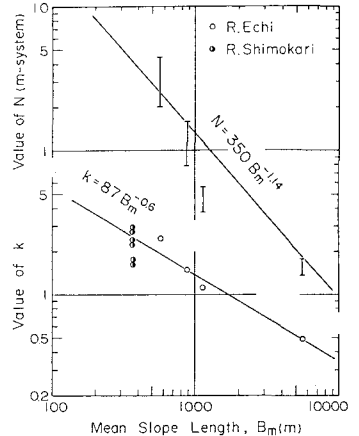


図9 平均斜面長と表面流定数 (P=0.6)