

26. 阿武隈川における1996年17号台風の出水解析

RUNOFF ANALYSIS FOR THE TYPHOON 17,1996 IN THE ABUKUMA RIVER

市毛輝和* ・ 八代義信* ・ 真野 明*
Terukazu Ichige, Yoshinobu Yashiro, Akira Mano

ABSTRACT; Development of the numerical system to reproduce runoff phenomena in a large river basin is important as tools not only to predict the disaster, but also to evaluate the complex system of water transport affected by the topography, geology, and vegetation in the basin. This study deals with the runoff by the typhoon 17, 1996 in the whole Abukuma River basin with the catchment area 5400 km². A runoff analysis model is developed by using the kinematic wave method and channel networks. The effect of the mesh size and the distribution of Manning's roughness are examined by comparing the observed hydro-graph at about 30 observatories.

KEYWORD; material transport, channel networks, runoff analysis, Abukuma River

1 はじめに

さまざまな地形、地質、植生を有する大規模流域の流出現象を精度良く再現できる数値解析のモデルを開発することができれば、災害の予測や、土砂などの物質輸送を解析する上で有用であるばかりでなく、蒸発散や地下浸透などの流域での水循環を研究する上での強力な道具にもなる。広い流域を扱う場合には、その中で水理現象に関係する諸量の分布をどのように与えるかという問題点が持ち上がってくるが、このことは逆にさまざまな地形や地質の支川の特性を比較できるという長所でもある。さらに、観測体制は一級河川ほど整備されており、それらを集め解析することにより、さまざまな流域の特性が調べられる。また一つの大規模流域の流出解析が可能になれば、それを次々に別の流域に適用して、さらに広域の水環境を解析していくことが可能になる。

そこで本研究では、我が国で11番目の流域面積5400km²を有する阿武隈川の流域全体を取り上げ、国土数値情報を使って1000mまたは500mのメッシュの擬河道で覆い1996年17号台風による流出解析を行った。外力である降雨量はアメダスのデータより流域内に分布的に算出した。降雨のうち、地下に浸透して長期流出する成分と、樹幹遮断される分を損失として扱い、流出率を同定することにした。

降雨データに流出率を乗じた分を流出解析の入力データとしてキネマティック・ウェーブ法により数値計算を行い、その結果と流域にある約30観測地点の流量時系列データの流出量・流出波形を比較検討した。流出波形には流域の粗度係数の分布が支配的な影響を与えるが、これも同定すべき第2のパラメータとした。

観測値と比較検討することにより、格子寸法の影響を明らかにし、流出率や粗度係数の分布を得、多くの地点で観測結果をよく表現できるモデルを構築することを目的としている。

*東北大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Tohoku University

2 モデルの作成法

2.1 擬河道網の作成

使用データとして、国土地理院によって作成された国土数値情報の流域界位置データ、標高データ、流路位置データを利用した。

格子寸法は、500m×500mと1000m×1000mの2種類とし、流域界位置データより阿武隈川の流域を限定し、標高データ及び流路位置データの河床高を用い、流域内の各メッシュに標高を与えて、各メッシュ点において勾配が一番急な方向にすべての水が流れると考えて流域全体の擬河道網を作成した。

斜面の流れ方と河道の流れ方は、水理学的に摩擦がかなり違ってくるので同一に考えると実際の流れと異なってしまいかねない。そこで、完成した擬河道網において、擬河道の種類を河道と斜面の2種類にする必要がある。張(1992)に習い、位数(各支川の上流端から数えたメッシュの数)考え方を用い、位数が8以上は河道、それ以外は斜面とした。図2-1は、格子寸法500m×500mの擬河道網の河道部分である。また、図中の黒丸は建設省の流量観測所を示す。

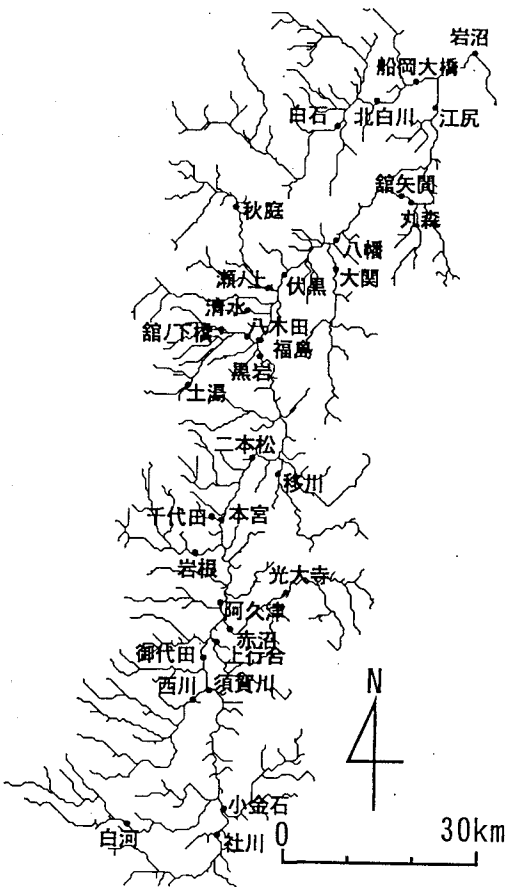


図 2-1 擬河道網

2.2 降雨データの作成および流出率の算出

各メッシュにおける降雨量は、流域内及びその周辺に存在するアメダスの雨量観測所の観測値を用いて次式で表される距離重み法により補間した。

$$P_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} z_k / \sum_{k=1}^n a_{ik} \quad , \quad a_{ik} = 1/d_{ik}^m$$

ここで P_i は求めるメッシュ点 i での降雨量、 n は対象観測所数、 a_{ik} は算定する点 i と観測所 k との距離による重み係数、 z_k は観測所 k の観測降雨量、 d_{ik} は算定する点 i から観測所 k までの距離、 m は距離の重みを決定する指数である。

$n = 4$ とし、 $m = 2$ とする場合、等雨量法の結果と一番近づくとされているので、本研究ではこの係数を用いて1時間単位の降雨量の分布マップを作成した。

台風による出水は1日程度の比較的短い時間スケールを有する現象であり、蒸発散については無視して考えることができる。地下水のうちの短期流出成分と直接地表流出する成分は区別しづらく、一括して表面流出として扱っても差が小さいことから、地表流出だけを考えることにして、次式により流出率を算出した。

$$f = \frac{r_e}{r}$$

ここで f は流出率, r は出水中の全降雨量, r_e は有効降雨量である. 流出率算出方法として, 勾配急変点法より, 直接流出と基底流出とを分離する方法を用いた. このようにして求めた流域平均流出率は 0.28 であるので各メッシュの降雨量にこの流出率を乗じた量を流出解析の入力データとした.

2.3 流出計算法

本研究では流域内の各メッシュでの降雨量のうち直接流出成分に対して kinematic wave 法を用いて, 擬河道網を通じて河口まで追跡計算した.

各メッシュへの流入量に, 降雨量に流域平均流出率を掛けた有効降雨量に加わり下流へ伝搬される. 任意断面形状の流路における洪水移動速度を表す Kleitz・Seddon の式を利用すると支配方程式は次式になる.

$$\frac{1}{w} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r_e B_{sl} \quad , \quad w = \frac{Q}{A} \left(\frac{5}{3} - \frac{2}{3} \frac{A}{B^2} \frac{\partial B}{\partial y} \right)$$

ここで w は洪水移動速度, Q は流量, t は時間, x は流下方向の距離, A は流水断面積, B は水面幅, B_{sl} は降雨を与える幅である.

等流を仮定すると, 流水断面積 A , 水面幅 B は, Manning の公式を用いて流量 Q を使って表現できる. この式を差分化して流出計算を行う.

河道断面形状は, 放物線形状と仮定し, 八代ら (1996) によって提案された擬河道網の情報より形状を決定する方法を用いた.

初期流量については, 観測所での観測より得られた基底流量値とその地点での擬河道網から得られる集水面積とを直線回帰させ, その式をもとに各メッシュでの集水面積から初期流量を算定した.

2.4 粗度係数

斜面の擬河道には斜面粗度係数として 0.30 を与えた.

また, 河道粗度係数は観測所における流出波形のピーク出現時間に大きく影響を与えるので, 次のように 3 つのモデルを考えた.

まず 1 つ目は, 流域内に一定の河道粗度係数を与えるモデルであり, 最適河道粗度係数とし, $n = 0.037$ とした. このモデルを n_1 とする.

2 つ目は, 砂礫の移動限界を考え, それによって粗度係数が決まるというモデルである. Manning の粗度係数 n を, 粒径 d を使って次の式で与える (河村, 1982).

$$n = 0.0131 d^{\frac{1}{6}}$$

河床材料の移動限界を考え, シールズ数を一定とする.

$$\frac{u_{*c}^2}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d} = const.$$

ここで u_{*c} は限界摩擦速度, σ は砂の密度, ρ は水の密度, g は重力加速度である.

限界摩擦速度 u_{*c} は等流状態で幅広断面を仮定すると,

$$u_{*c} = \sqrt{ghI}$$

ここで h は水深、 I は勾配である。

水深は流域面積が影響するので、勾配だけで表すことが出来ず、ある平均値を使うことにすると

$$n = a \times I^{\frac{1}{6}}$$

となり、勾配により河道粗度係数を算出できる。ここで a は河道粗度係数を決定する係数である。このモデルを n_2 とする。

最後に3つ目は、レジーム理論(高山, 1974)を適用する方法で粗度係数と勾配はそれぞれ次式のように流量で表せる。

$$n \propto Q^x, \quad I \propto Q^y$$

ここで x, y は指数である。この2つの式より次式が成り立つ。

$$n = bI^z, \quad z = \frac{x}{y}$$

ここで b は粗度を決定する係数である。Laeopoldの理論などを参考にして z の値を決定するとおおよそ $1/3$ になる。このモデルを n_3 とする。

3 計算結果および考察

流出解析は1996年9月の台風17号の出水に対して行い、建設省の阿武隈川流域の観測所での観測データと計算結果を比較した。

流出解析計算の開始時刻は9月22日0時とし、アメダスの降雨データは24日0時までを使用し、その後の降雨データは0mmとして計算を行った。

最初に、最適モデルである格子寸法が500mの n_3 モデルによる計算結果と観測値の比較を図3-1に示す。出力地点は本川については河口側から岩沼、八幡、福島、二本松、白河の5ヶ所、支川については広瀬川の大関、五百川の岩根、釈迦堂川の西川、社川の小金石の4ヶ所の9の流量観測所である。ここにあげた観測所は流域内の流量観測所のうち、計算上の集水面積の実際との相対誤差が約10%以内にある観測所である。すべての地点でピーク流量発生時間は観測値とほぼ一致している。本川上流の白河においては、観測の波形より全体的に大きな波形になっている。その他の地点については、波形の立ち上がり時間は観測値とほぼ一致している。波形の幅は、本川においては白河以外では観測値より狭く、支川においてはほぼ観測値に一致している。本川における白河以外の観測所および小金石の波形減衰部は観測値より急激に減衰している。

流域内の出力点について、その流域に与えた雨がどの程度流出したかの計算誤差を調べ、図3-2に示す。計算誤差は、次式で定義した。

(計算誤差) = ((流域に与えた有効降雨量の総量)

$$-(\text{出力点を通過する総流出量})) / (\text{流域に与えた有効降雨量の総量}) \times 100$$

この図を見ると集水面積が小さいと誤差も小さく、集水面積が増加するとともに誤差も大きくなっている。総流出量には、初期流量の流出も含まれ、流域面積が最も大きい岩沼観測所でこれを除いた流出量について同じように誤差をとるとオーダーが下がる。よって誤差要因としては、初期流量があげられる。集水面積が大きくなると、そこに与えられた初期流量も多くなり計算誤差も大きくなると考えられる。入力量より出力量の方が大きくなっているのも、これが原因であると考えられる。

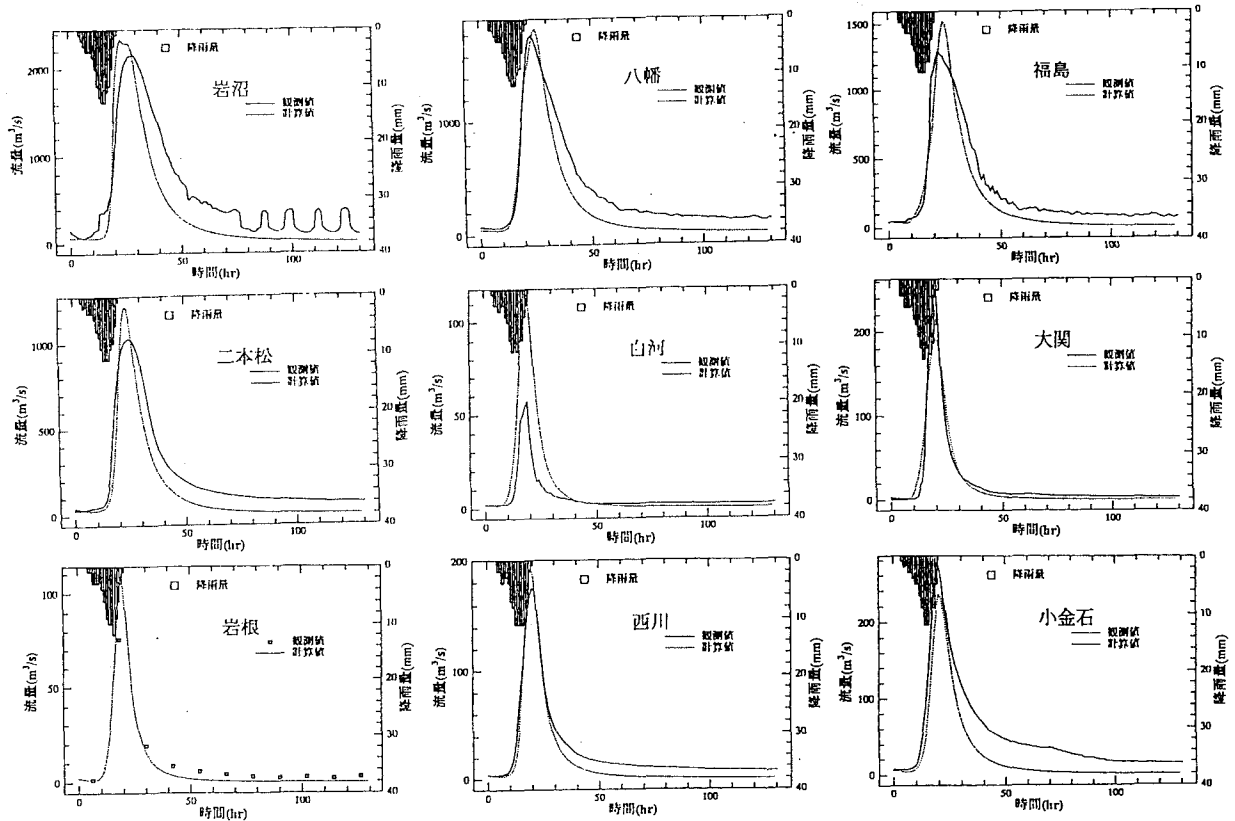


図 3-1 流出波形

3.1 格子寸法の影響

格子寸法の影響については本川下流の丸森観測所について n_3 モデルのハイドログラフで比較検討を行う。この地点以外の本川上の何地点かでも比較検討したがすべてにおいて格子寸法が大きい方が計算結果のピーク流量が小さくなり、総流出量も小さい。

次に地形表現誤差とピーク流量誤差の関係を図 3-4に示す。横軸は擬河道網から得られた集水面積の実際の集水面積に対する相対誤差で、縦軸は計算したピーク流量の観測値のピーク流量に対する相対誤差である。500m格子の場合には、集水面積の誤差は4%以下で、ピーク流量の誤差もほぼ30%以下になっているのに対して、1000m格子では集水面積の誤差は6%まで拡がりピーク流量誤差が20%~50%に達している。このことから地形表現の誤差が流量の誤差につながっていることがわかる。

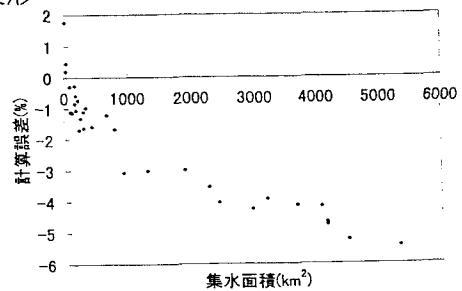


図 3-2 計算誤差(500m 格子)

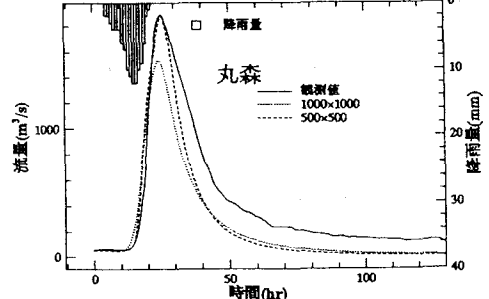


図 3-3 ハイドログラフ(格子の影響)

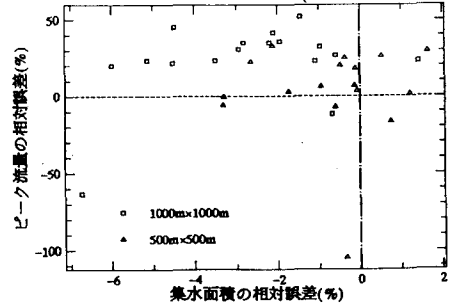


図 3-4 格子寸法の影響

3.2 粗度係数の影響

河道粗度の影響についても本川下流の丸森観測所の格子寸法500mのモデルのハイドログラフで比較検討を行う。下流側の丸森観測所では、河道粗度を一律に与えた場合ピークの山が2つになったが、分布的に与えた場合ピークの山は1つになり、観測値に近い。

次に各河道粗度係数において、河口からの距離に対するピーク発生時間の観測値とのずれについて図3-6に示す。この図において n_1 モデルの場合下流側で時間差が大きくなっているのは、ピークの山が丸森観測所のように2つになっているためである。粗度を分布的に与えた場合、全体的に時間差は小さくなっている。指数については1/3乗の方が若干時間差が小さいようであるがあまり差がない。上流側になるとどのように粗度を与えても時間差はあまり見られない。これは、最大流路長が長くなるほど粗度係数の算定誤差の影響が大きくなるためと考えられる。

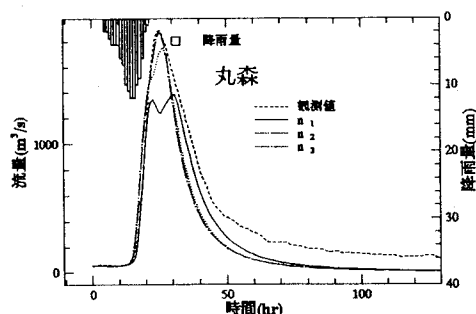


図 3-5 ハイドログラフ (粗度の影響)

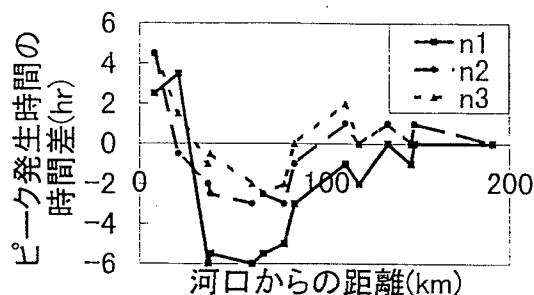


図 3-6 河道粗度の影響

4 おわりに

本研究において、格子寸法をより小さくすることで集水面積の相対誤差が減少し、より正確な流出計算ができるようになった。流出率については、流域平均として算出することができた。粗度を n_1 モデルで与え格子寸法を500mにしたときピークが二つになり、その原因として粗度係数と流出率による有効降雨量の算定法を考えたが、粗度係数を変えることでピークが一つになり粗度の原因が大きいことがわかった。また、河道粗度係数を勾配の関数として分布的に与えることができ、これにより観測値により近い流出計算ができるようになった。

最後に、貴重なデータを提供していただいた建設省仙台工事事務所、福島工事事務所、七ヶ宿ダム管理所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 八代 義信・真野 明：河道特性を考慮した阿武隈川流域の流出解析，土木学会第51回年次学術講演会講演概要，pp.704-705，1996.
- 2) 張 旭紅・首藤伸夫・石川忠晴：国土数値情報を用いる流出及び濁質発生量の解析，水工学論文集第36巻，pp.665-670，1992.
- 3) 河村 三郎，土砂水理学，森北出版，211p.，1982
- 4) 高山 茂美，河川地形，共立出版，179p.，1974