

I はじめに

洪水の流出計算法として我国の現場で現在多用されている方法にはラショナル式法・中安法・立神法・貯留関数法・総合貯留関数法等がある。建設省が改修を担当している様な大河川をのぞいた一般中小河川の大部分ではラショナル式法が広く採用されている。特に洪水調節ダム計画の様に洪水の最大流量のみならずそのハイドログラフを必要とする様な場合は、簡便にラショナル式法をもととした三角形ハイドログラフによるか、より厳密には中安法・総合貯留関数法等が採いられている様である。しかしこれ等の方法で得られたハイドログラフの信頼性という問題になると計算を実際に担当した技術者自身でさえあまり責任が持てないというのが実情ではなかろうかと思う。そこで講演者は中小河川の洪水のハイドログラフを簡易にしかも“当らずといえども遠からず”以上の精度で計算できる新しい普遍的な方法を開発したいとかねがね考えている次第である。このためまず基礎研究として利根川支川赤谷川の上流部相俣ダム流域に“相俣試験地”と呼ぶ洪水流出試験地を設け、そこで昭和44年から丸三ヶ年にわたり山地河川の洪水流出機構の現地研究を行った。本報告は主として相俣試験地での研究成果にもとづき山地河川の洪水流出計算モデルを組み立て、これを実際の洪水に適用を試みた第一回の報告である。

II 相俣試験地と相俣ダム流域の概要

相俣試験地は集水面積約17 ha、平均傾斜約41度と非常に険しい小谷である。河道は下流部の10～30度と比較的傾斜が緩く厚く土砂礫が堆積した区間と、上流部の40～60度と非常に急で基岩が露出し殆んど堆積物がない区間(その集水面積は全体の約60%)に分けられる。地質分布は一様で復興石安山岩である。この相俣試験地の上流部のもっとも険しい区域を“洪水流出測定区”として用いた。洪水流出測定区は集水面積約4.5 ha、山腹の平均傾斜約42度、河道の最長水平距離約210 mその平均傾斜約41度である。基岩が露出した河道ならびにこれに連なる露岩地帯は集水面積の約5%にあたる約2100 m²である。林相は天然闊葉樹に針葉樹が混入した原始林で、下草は殆んど生えていない。山腹の土壌は厚さ約1 mの残積性森林土壌で、山腹下部は堅硬な鏡面をなした基岩の上に土壌が画然と乗っているが、山腹中・上部と上に行くに従い基岩の風化の度合が著しくなっている。谷壁の傾斜の緩い部分は崩落して来た土砂あるいは落葉が堆積しましたその上に苔が生えスポンジ状の比較的薄い運積性土壌が形成されている。

相俣試験地がその中に設けられている相俣ダム流域は集水面積が110.8 km²で、大きく赤谷川筋と西川筋に分けられ、本流の平均河床勾配は赤谷川が約1/14 西川が約1/18である。また溪流の上流部は基岩が露出し流水はあたかも滝の如く落ち、山腹の傾斜は相俣試験地のそれ以上急で、谷の深い非常に急峻な山地である。流域の97.8%が山林・原野・河川で占められ、残り2.2%が田・畑・宅地・道路等である。

III これまでの相俣試験地における研究ならびに関連研究で明らかにすることの出来た事項について

相俣試験地で行われた現地研究の主たる項目は①雨量観測②洪水流量観測③林内気象観測④山腹流観測⑤山腹散水実験⑥洪水流下速度実測⑦地形・地質・土壌調査⑧洪水流出の観察等である。またこれ等の研究と関連して相俣ダム・石狩川支川幾春別川桂沢ダム・北上川支川胆沢川石淵ダム・旧北上川支川江合川鳴子ダム・利根川支川鬼怒川五十里川俣両ダム・同左支川片品川園原ダム・上市川上市川ダム・天竜川支川三峯川美和小試験地・物部川永瀬ダム・大淀川支川本庄川綾北綾南両ダムの12山地河川流域において洪水ハイドログラフの解析を行った。以上の研究から明らかにすることの出来た事項を列挙すれば次の通りである。

①山地河川流域の大部分を占める森林土壌でおおわれた山腹では降雨は総て地中に滲透し、土壌層をほぼ飽水した時点で降雨強度と基層への滲透強度の差が土壌のほぼ最下層を中間流となって河道に流出すると考えられ、表面流が発生するのは流域の極く限られた地帯である。したがって一洪水毎について見ると総雨量が

大きくなるにしたがって中間流出が直接流出に占める割合が段々と大きくなる。

②洪水流出測定区を含む対象全流域では一洪水毎の総雨量と総損失雨量の間に高度の相関関係が認められ、しかもこの関係が良く似ている。現場では総雨量と総損失雨量の関係を一連降雨における時間有効雨量の算定に適用する方法が経験的に行われているが、これはある程度理論的にも根拠のある方法といえよう。

③洪水流出測定区においては降雨終了後の流量の通減状況は各洪水毎著しく異なり夫々一定ではない。また降雨終了時より洪水がほぼ平水に戻るまでの時間は数時間ないし十数時間を要する。また上記 12 流域についても洪水の通減状況は同様であるが、ただ一つ共通している点は流域面積の大小を問わず直接流出の終了時点は最大流量の発生時点あるいは降雨の終了時点よりほぼ丸一日位経過した時点と見なせることである。

④洪水流出測定区では洪水の通減部において有効降雨の流域貯留量 S と河道への流出量 O の間に $S = K O^P$ なる関係の存在が明確に認められる。係数 P の値は $0.3 \sim 1$ の範囲をとり、しゅう雨性の雨の場合はその値が 0.3 に近く、地雨性の場合は大きな値をとる傾向がある。また係数 K の値は $1 \sim 5$ の範囲をとり、概して総雨量が大きくなるにしたがって大きな値になる様である。

⑤相俣試験地の河道上流部においては非常に早期に洪水が発生するが、これが流下して下流部にいたると流出強度が弱い間は総て河床下に伏流してしまい、強くなるにつれて河床上を表流水となって流れ、弱くなり始めるとまたたちまち全量が伏流してしまっている。

⑥相俣試験地における土石流の発生状況から見て、溪流河道の河道堆積物は有効降雨に対して非常に大きな貯留作用を行っているものと考えられる。

⑦一般に溪流河道は粗度が大きくしかも絶対流量が少ないため、溪流河道での洪水流の流下速度は幹川河道におけるそれより一桁低い値ではないかと推定される。

⑧洪水流出測定区では降雨波形に比較的良く似た流出波形が発生している。しかしこれを同一降雨で相俣ダム流域について見ると対応関係が認められなくなるのが一般である。また上記 12 流域についても同様である。これは流域内における貯留作用の結果と考えるのが妥当であろう。貯留作用を考える場合それを河道貯留に求める事が多い様であるが、山地河川流域における貯留作用は山腹における貯留作用と溪流河床堆積物による貯留作用がその主体をなしていると考えの方が実際に即しているのではないだろうか。

IV 山地河川の洪水流出計算モデルの組み立て

以上の結果より次なる手順の山地河川の洪水流出計算モデルの組み立てを試みた。なお本モデルでは $1/5$ 万地形図を基準とし、そこに表現されている河道を幹川河道それ以外の河道を総て溪流河道と定義する。

1) ある単位時間内に降った雨の有効分（一次時間有効雨量）は一洪水毎の総雨量と総損失雨量におけると同様の関係が一連降雨内にも成立するものと考え、その関係式を $R_L = 10^{[(1+\lambda R)^{\lambda}-1]}$ の形で与えて計算する。 R は累加雨量、 R_L は累加損失雨量であり、 λ は降雨の損失係数と呼ぶ。

2) 一次時間有効雨量は山腹で貯留作用を受けた後溪流河道に流出する。これを二次時間有効雨量と呼ぶ。その貯留方程式は $S_{(M)} = K_{(M)} O^{0.5}$ の形で与えられ、 $S_{(M)}$ は山腹貯留量、 $K_{(M)}$ は山腹貯留係数と呼ぶ。

3) 河道堆積物のない溪流河道区間の集水域（これの全集水域に対する割合を早期流出発生区域率と呼ぶ）よりの二次時間有効雨量は表流水となって河道堆積物のある溪流河道区間にいたり、河道堆積物の貯留量（後述）がある値（限界貯留量）以下の時は一定強度（限界伏流強度）まで伏流し、限界貯留量をこえたならば全量がそのまま表流水となって流下し幹川河道にいたる。河道堆積物のある溪流河道区間の集水域よりの二次時間有効雨量は全量が河道堆積物中に伏流し、前者と併せて河道堆積物により貯留作用を受けた後湧出して表流水となる。これを三次時間有効雨量と呼ぶ。溪流河道堆積物の貯留方程式は $S_{(S)} = K_{(S)} O^{0.5}$ の形で与えられ、 $S_{(S)}$ を溪床貯留量、 $K_{(S)}$ を溪床貯留係数と呼ぶ。

4) すなわち二次時間有効雨量の一部と三次時間有効雨量の和が流域に降った雨が最終的に溪流河道に流出して洪水流となる源であって、これを最終時間有効雨量と呼ぶ。

5) 溪流河道に流出した最終時間有効雨量がここを流れ下って幹川河道にいたるに要する平均的な時間（溪

流集中時間)はその平均流下距離を幹川河道平均幅員の $1/4$ 、流下速度を幹川河道を洪水流が流下する速度(後述)の平均値の $1/10$ と仮定することにより求める。

6) 溪流河道より幹川河道に流れ込んだ洪水流はそこを河道貯留作用を受けることなく洪水流量の計算地点に向い集中流下するものとする。そしてその集中流下速度を $V_{(T)} = C_{(T)} I^{0.5}$ の形で表わす。 $C_{(T)}$ を幹川河道集中係数と呼び、 I は河床勾配である。また⑤⑥の過程の実際の計算では、 $1/5$ 万地形図により洪水流量計算地点を基点とした集中距離・累加集中面積関係(立神法参照)を求め、次に溪流集中時間と上式により集中距離を集中時間に変換して集中時間・集中面積関係を、さらにこれより集中時間・累加集中量関係を求め、 S ハイドログラフ法により最終時間有効雨量に対する単位図を作成することにより行う。

7) この様にして計算された直接流出量に基底流量(一定値とし、初期流量を用いる)を加えれば求める洪水のハイドログラフが得られる。

すなわち本モデルは降雨の損失係数 λ ・山腹貯留係数 $K_{(M)}$ ・早期流出発生区域率 ϵ ・限界貯留量 $S_{(S)L}$ ・限界伏流強度 U ・溪床貯留係数 $K_{(S)}$ ・溪流集中時間 $T_{(S)}$ ・幹川河道集中係数 $C_{(T)}$ ・初期流量という九つの係数をもって洪水のハイドログラフを表現している。

V 本モデルの実際洪水への適用

本モデルを検証するためとりあえず相俣ダム流域の洪水三例(昭和33年以降第三位の洪水まで)について再現計算を試みた。計算はマイクロコンピュータSOBAX 1CC-2700A(メモリー数20、プログラムステップ数1012)により手計算で行ったため上記諸係数を求めるための試算は十分行われていない。しかしこれらの洪水については係数を $\lambda \div 0.9$ 、 $K_{(M)} = 5$ 、 $\epsilon = 0.5$ 、 $S_{(S)L} = 20 \text{ mm}$ 、 $U = 1 \text{ mm/hr}$ 、 $K_{(S)} = 1.0$ 、 $T_{(S)} = 1.5 \text{ mm}$ 、 $C_{(T)} = 2.0$ として計算した所、最大流量の発生時間の誤差が ± 1 時間以内、最大流量値の誤差が $\pm 20\%$ 以内でしかもハイドログラフの全体の形も比較的良く再現できるという結果が得られた。図はその一例である。

VI おわりに

相俣ダム流域については本モデルによる洪水ハイドログラフの再現度は比較的良好で、しかも係数に定量性が認められる様であるので、相俣ダムについて大型計算機を用いて計算を進めると共に、更に他の流域についても適用を試みてみたいと考えている。

VII 参考文献

岡本芳美 山腹における降雨の滲透と流下について 第16・17回水理講演会講演集

