

京都大学防災研究所

正員 石原安雄

同上

正員 ○下島栄一

京都府

田中雅和

洪水流出現象を理解し、さらに流域の被覆状態の変化が流出に及ぼす影響などを究明するため、現地の観測研究や流出理論の研究が行なわれてゐるが、本研究は洪水流出現象に対する水理模型の成立の可能性を検討すると同時に、その検討過程を通じて洪水現象を理解しようとしたものである。

① 水理模型の構成と問題点：対象とした実流域は野洲川中流の左支川である荒川の上流部に設定されている集水面積0.18km²の梅ヶ谷試験流域である、非常に透水性のよい落葉層が存在する比較的急峻な細長い平面形状をしてゐる。これに対して実験室内に作つた模型は1/100のコンクリート製の幾何学的相似模型で、実流域の表層を模擬するために厚さ約1cmの多孔質材料を張付けた。この模型についてこれまで検討した結果、次の様な問題点が指摘される。

(1) 雨水流の相似：洪水流出は一般に中間流、表面流及び河道流と要素としてあり kinematic wave の特性がありと考へてゐてゐるが、表層の透水性、河道や地面の相対係数など実流域での流れ定数は不明な点が多いので、模型で1,2の相似比を可変として試行錯誤によつて相似律を決定する必要があり。

(2) 有初降雨：一般に実流域では浸透損失があり降雨がそのまゝ洪水流出に対して入力とはならない。我々は現在浸透を模擬する手段を見いだしてゐる上記の様にコンクリート製の不透透模型について研究してゐるので、模型で与えるべき降雨はいわゆる有効降雨としなければならぬ。しかし、この有効降雨も *a priori* に与えることが難しいので、これを試行錯誤に決定しなければならぬ。

以上が水理模型の相似律を決定する上での基本的な問題であるが、さらに実際上次の2つの問題が生ずる。まず一つは表層を模擬する多孔質材料の問題である。多孔質材料では一般に毛管力のため毛管水帯が形成され、その影響は実流域では微弱であるが縮小された模型では非常に拡大される。よつて出来れば毛管力の影響が少ない材料の選択が要求され、本研究では各種のテストの結果市販のステラシートを採用したが、このことは模型での表層を固定する点になる。次に、河道降雨の問題である。実流域では実降雨がそのまゝ河道降雨となるが、模型で有効降雨を与えるとするとそれが模型河道にも同時に与えられるので、入力の相似性が保持されることになる。よつて実流域と模型との hydrograph の比較を行なう場合、河道降雨の影響を取り除く必要がある。

② 実験手法

1) 降雨条件：本研究での実験装置は図-1に示してゐるが、実流域で5分間平均の降雨が与えられる、しかも模型での時間スケールはある範囲で任意に選ぶことができるように、DA変換器で入力信号を与える様にした。

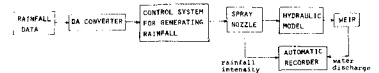


図-1

2) 初期条件：実際問題として洪水流出はいわゆる基底流の上のものとしてみても大差はないと考えられるので、本研究では、まず模型に一定強度の降雨を定常状態になるまで与えたのち給水を停止し、流域末端での流出量逓減状態が表層固有の保水特性より決まる $4.8 \times 10^2 (\text{min}^2)$ の逓減係数となる $5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ の流量となつたとする初期状態として与へての実験を行った。

3) 河道降雨の影響の除去：本研究ではつぎの方法によつて近似的に河道降雨の影響を除去した。まず、測定された hydrograph (Q_{ob}) より河道流の伝播時間を近似的に $T = k \cdot L_c \cdot Q_{ob}^{p-1}$ 、 k, p : 定数、 L_c : 河道長さ、と求め、 $Q_c = [B \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{k}]^{1/p}$ 、 B : 河道中、 r : 所用強度と計算する。ついで $Q_{eq} = Q_{ob} - Q_c$ 、 $B \cdot Q_{eq} = Q_{ob} - 1.2 Q_c - Q_{ob}$ 、 Q_{ob} : 基底流、と計算する。これらの Q_{eq} 式の誘導は省くが、河道降雨の影響の厳密な算定が難しいので、その影響の範囲の両極端を意味する

る斜面流のみによる流出量である。したがって、 $P_s = K_{Ls} (Q_{0s} - \alpha Q_c)^{1-\alpha}$, $\alpha = 1.0 \sim 1.2$ と定め、上記の $Q_c(t_0)$ の時刻 $t_0 + (T_s - T)$ で生じるものとする。よって、河道降雨を除去した場合の hydrograph が存在する範囲を定めることが出来る。

③ 実験結果及び考察：まずオーストラリアに問題となるのは、模型にどのような有効降雨を与えればよいのかという点である。これは試行錯誤的に決定される問題と考えられるので、手始めとして「有効降雨は観測降雨強度に比例する」（比例定数を f ）とした。さらに問題を簡単にするために、実流域の斜面流出成分として早い流出成分のみが生起していると考えられる洪水を抽出して実験を行った。この場合、実物と模型の両者の相似性を検討するために、実流域に対しては、 $Q_{sp} = Q_{sp}/Q_{sp,max}$ ……① 模型流域では $Q_{sm} = Q_{sm}/Q_{sm,max}$ ……② ことに、 Q_{sp} , Q_{sm} は、それぞれ初期流量が自然通過するものとして基底流及び河道降雨の影響を線形的に測定流量から差引いた値である。

① 相似比の決定：図-2は1971年7月22日の洪水について時間スケール t 及び降雨強度スケール r を変化した実験を行った結果の無次元 hydrograph である。図中には $Q_{sp}/Q_{sp,max}$ と同時に記入してあるが、降雨終了後の減衰部 ($t_p \div 150 \text{min}$ 以降) では、ほぼ並行な曲線を示している。特に $t = 1/40 \sim 1/80$ に対しては、その傾向が3時間程度続いている。そこで与えられた無次元 hydrograph を上下に移動し、減衰部において $Q_{sp}/Q_{sp,max}$ とともによく合致するようにしたときの移動距離を求め(半対数紙のため倍率)、この倍率を $Q_{sm,max}$ に乗じえられた値 $E(Q_{sp,max})$ と縦軸に、

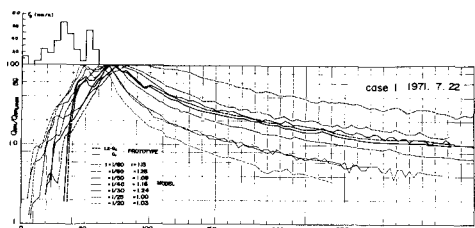


図-2

1/と横軸にとり、2点描き、 r の値のほぼ同じものを曲線で結んで示したものが図-3である。図の破線で示した値は $Q_{sp,max}$ の上限値及び下限値である。また、相似関係 $E(Q_{sp,max}) = Q_{sm,max} f^{1-\alpha}$ (α は長さの相似比) を用いて図-3の各点に対応する f の値を求めたものが図-4である。これらの図と、図-2のピーク付近の形状とを総合的に判断した結果、本模型においては、 $t = 1/50 \sim 1/60$ $r \div 1.0$ 前後としたときに相似性が保証され、このときの f の値は4~5% (他の実験の結果をも勘案すると4%) となる。これは逆にいうと、上記の相似比及び f の値を用いると現地と相似の洪水 hydrograph がえられるので、少なくとも橋谷各流域ではここで対象とした流出成分に対する有効降雨は観測降雨に比例すると考えようことを意味するわけである。さらに、このような斜面上の流水を橋谷各流域では表層水⁴⁾と呼んでいるが、その伝播速度は、模型上で 0.8 cm/sec であり、 $t = 1/50$ 、透水係数 k_m と有効空隙率 γ_m との比 $k_m/\gamma_m = 1.5 \text{ cm/sec}$ と推定されるので、現地では相似関係より、 $k_r/\gamma_r = 3 \text{ cm/sec}$ となる。この値は現地観測よりえられたものとはほぼ同じ値である。次に河道部の相似については、流水断面積を $A = KQ^p$ としたときの K の相似比は $K_r = (t_r/r)^{p-1} \times t_r^{1-2p}$ と与えられるから $t_r = 1/50$, $r = 1.0$, $f = 0.04$, $p = 0.7$ となると $K_r = 0.3$ となる。一方模型の河道部に対しては $K_m = 0.15 (\text{m}^3)$ と見積られるから現地に対しては $K_p = K_m/K_r = 0.5 (\text{m}^3)$ となる。この値は現地の状況からしてオーケーとしてほぼ妥当なものであり、しかも K_p の変化が下流域 hydrograph に与える影響は顕著でな(図-3参照)ことを考えよと、洪水流出現象の斜面過程と重要視している場合には問題がない。

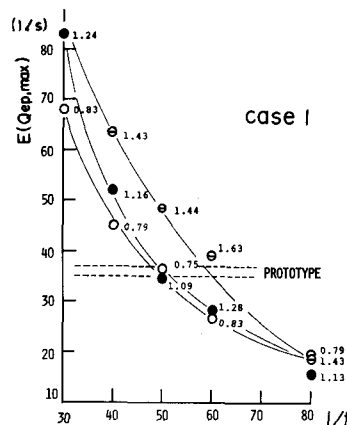


図-3

さて、有効降雨強度比について考えてみる。上で相似律を決めるために用いた洪水は、斜面流出成分としての線型性の強い表層水が卓越する流出形態となっていた。それゆえこの表層流の相似律 $t_e = \gamma_m t^{-1}$, h : 表層水の水深比、よりすれば f が設定されることが決定されたとしても $t_e \propto h$ となり有効降雨強度比が一意的に決められない。すなわち、 f の値が決ってもどの程度の降雨

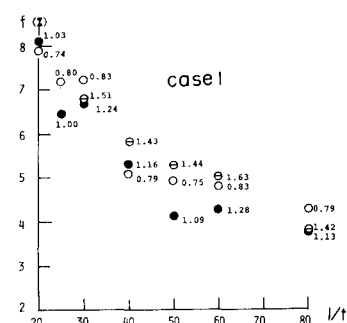


図-4

強度 γ 、 γ_p の降雨を模型に与えればよいと決定するのは難しいということである。結局、有効降雨強度比を決定するためには斜面流出成分として非線型性が顕著な洪水を対象にして、実験が可能な貯水限度 B の表層厚 z を決定しなければならぬ。

2) 水理模型の利用：1971年8月31日の洪水の実験例は、1ヶ月間無降雨状態が続いた後の3時間 $t_p=16$ mmの初期降雨があり、その後1時間降雨が止んだ時点に初期条件として行なわれた。実験は $1/50$ 、 $\gamma=1.4$ の降雨を用いて行なわれたが、図5は降雨開始後2時間程をとり出したものであり、実験hydrographは $f=0.04$ を用いた実流域に変換されている。また、実流域のものは基底流量 B の河道降雨を線型的に観測流量から差引かれたものと示してある。ピーク流量近傍の河道降雨の影響は $T_R-T=5\sim 10$ min であるのでこれからすれば

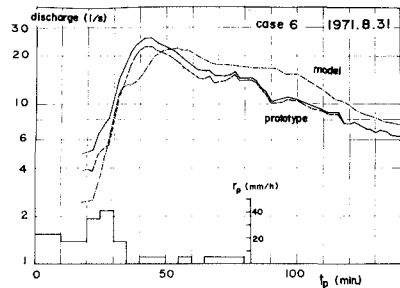


図-5

両hydrographのピーク付近はよく合っていると言え。しかし降雨終了とともに $T_R-T=0$ となるので、減衰状態では異なる性状を示している。よって図4を求めたと同様の操作で両hydrographの減衰部を一致するようにすると、 f の値は0.03となる。このことは、長期間の乾燥状態の継続のため降雨終了後の表層下部への浸透は降雨継続中と異なっていることを示す。すなわち、 f の値は固定的なものではないことを暗示している。図-6は図5に続く降雨により、表層水と異なった流出成分が生じていることを示したものであり、図中の太い実線は実験hydrographに図5と同じ f の値0.04を用いた実流域の表層水に対応するhydrographに変換したものと、 $Q_{ob}-\alpha(Q_c-Q_b)$ より線型的に差引いたものであるが、これは理論観測をもとに得られた中間流のhydrograph(図中の一点鎖線)にはほぼ一致していることが判る。この事実よりすれば、本研究で作成した水理模型はほぼ妥当なものであると考えられる。

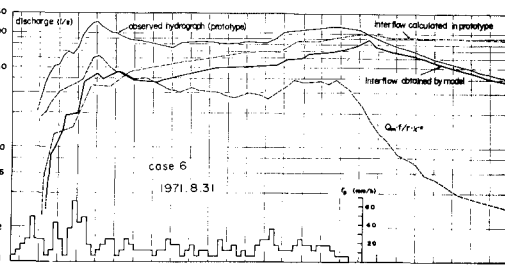


図-6

<参考文献>

- 1) 石原・下島：洪水流出模型の構成とその精度について，第2回水理講演会。
- 2) 石原・下島：雨水流出シミュレーションの基礎に関する実験的研究，第2回水理講演会。
- 3) 石原・下島：直接流出の減衰機構について，第2回水理講演会。
- 4) 石原・小澤行：山地流域における直接流出の生起過程，京大防災研報告 第38巻 第2号 1974。
- 5) 石原・小澤行：荒川流出試験地における雨水の浸透について，第2回水理講演会。