

法華山谷川における分布型流出モデルの適用について

石原 純¹

¹兵庫県 県土整備部 土木局 総合治水課 (〒650-8567 神戸市中央区下山手通5-10-1)

法華山谷川流域では、2011年台風第12号により甚大な浸水被害が発生した。今回の法華山谷川における流出では、降雨ピークと洪水ピークとの間に大きな時間差が生じ、また洪水ピーク時における流出量の低減が確認されている。これは、中上流域に数多く存在する「ため池」が流出抑制に寄与したと考えられる。

この現象を踏まえ、本流域の特性が反映でき、かつ総合治水を進める上で流域内の雨水貯留施設の流出抑制効果を適切に評価できる流出解析手法として、分布型流出モデルを採用した。採用に至ったアプローチと保水・貯留機能の高い小流域における分布型流出モデルの有用性について報告する。

キーワード 分布型流出モデル 小流域 ため池 総合治水

1. はじめに

法華山谷川は加古川市と高砂市を流れる流域面積約42 km²、延長約16kmの二級河川で、中上流域は田園地帯、下流域は低平地に密集市街地が形成されている。2011年台風12号(以下、H23T12と記す)では、志方観測所で戦後最大規模の最大時間雨量69mm、24時間雨量297mmを記録し、流域で浸水面積約420ha、浸水家屋数1,640戸の過去最大の被害が発生した(図-1・写真-1)。

H23T12 洪水による浸水被害の程度は、その土地利用の特性から、下流域・中上流域で大きく異なっている。

下流域は1960年以降、交通網の発達等により宅地化が進んだことから、低平地に開発された住宅地を中心に大きな浸水被害が発生した。

これに対し、中上流域は市街化されておらず、溢水による浸水した土地の多くは田畑であった。また中上流域には、森林や水田、100を超えるため池といった雨水貯留浸透機能を持つものが数多く存在し、結果、河道からの溢水も含め、下流域への流出を抑制したと考えられる。

再度災害防止の観点に立ち、実績流量を対象とした河道計画を策定するには、浸水被害発生時の流量・氾濫を正しく再現できる流出モデルが不可欠である。また、総合治水を推進する兵庫県では、総合治水対策を検討する上で、流域対策による流出抑制効果を評価できるモデルであることも必要条件であった。

【上流域・中流域】

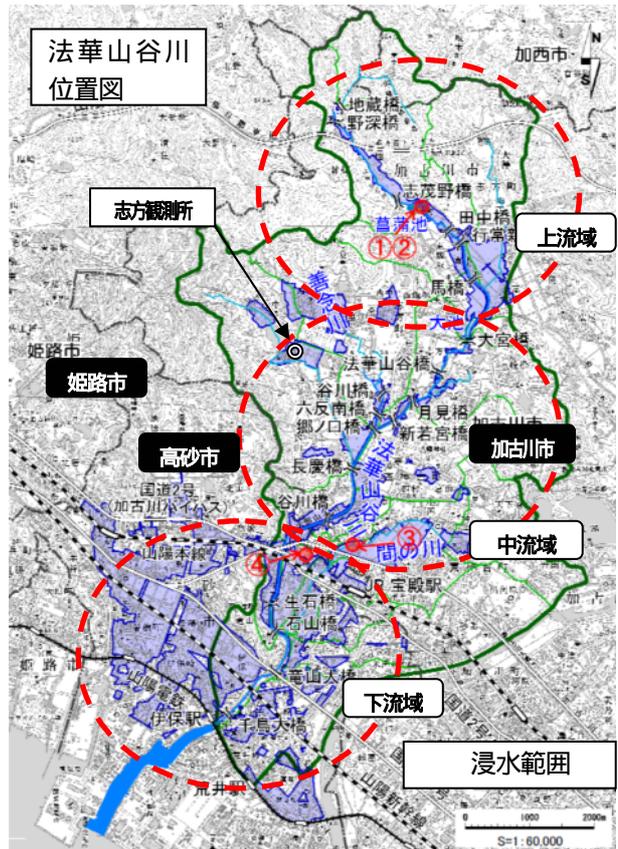


図-1 台風第12号による浸水状況

【下流域】



写真-1 台風第12号による浸水状況

2. 合成合理式による流出状況の再現

まずは再度災害防止の観点から、実績洪水を対象とした河道計画を検討した。既存の法華山谷川河川整備計画は合理式で策定されており、今回の流出・氾濫を再現できない。対策の効果を検証するために、新たに流出モデルを構築することとした。

そのアプローチとして、合理式で求めたピーク流量を連ねて容易にハイドログラフを作成することができる合成合理式により、一般的な係数を使用して流出状況の再現を試みた(図-2)。その結果、上流域での河川の氾濫を考慮してもなお、次の(1)~(3)の点において実績洪水と大きく異なった。

推算流量(合成合理式(当初))と実績流量の比較

- (1) 実績洪水の降雨ピークと流出ピークの遅れ(約4時間)を再現できていない
(同程度の流域での洪水到達時間は約90分)
- (2) 実績洪水のピーク時の最大流出量を再現できていない
- (3) 洪水波形を再現できていない

実績洪水は河川への流出に時間がかかるという特徴的な流出形態が確認されたことから、この特徴を再現するために合成合理式に次の(1)、(2)の改善を行い、実績洪水に合うモデルを構築した(図-2)。

合成合理式に適用した改善

- (1) 総流出量を再現するため、流出係数を降雨の初期・中期・後期に合わせ変化
- (2) 流出の遅れを再現するため、実績洪水の形に合うよう調整した流出遅れ係数 T_L を導入
(T_L とは各流域からの流出波形を引き延ばすことにより、流出の遅れを表現)

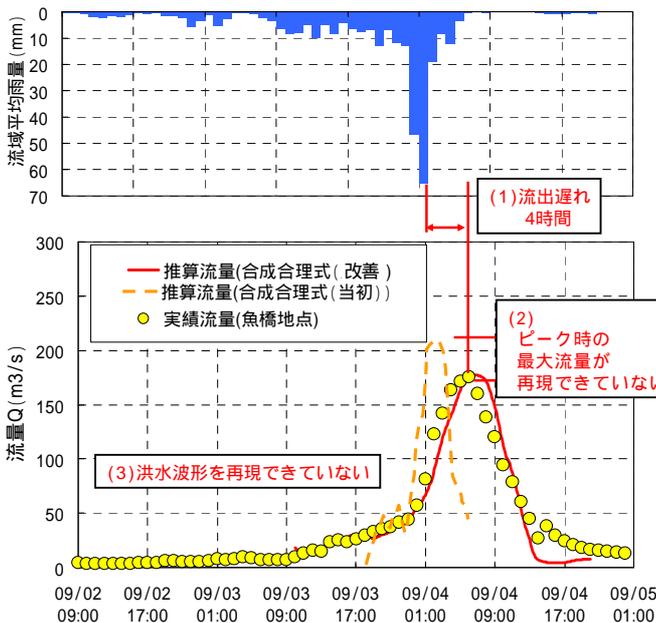


図-2 合成合理式による実績洪水の再現

この改善により、洪水波形やピーク流量は概ね一致させることができた。しかし現況を再現するため、累加雨量に応じて変化する流出係数 f や洪水波形を恣意的に変化させる流出遅れ係数 T_L といった無理な係数を設定しており、多くの洪水に対応できる汎用性や信頼性のある流出モデルとは言い難い。

また、流出特性を一律な流出係数 f で取り扱い、流出に大きな影響を与える田んぼや森林、市街地など土地利用の地域分布が反映されていないこと。またため池等の分布に応じた流出抑制効果の評価ができないことなど、総合治水対策の検討に適した流出モデルになっていない。

そこで、土地利用の地域分布が反映でき、ため池や水田等といった流出抑制効果をその分布に沿って表現できる分布型流出モデルを採用した。

3 分布型流出モデルによる流出状況の再現

本流域には、中上流域に大小137ものため池が点在し、流域面積に占めるため池集水面積の割合は4割を超える(図-3)。この流出抑制効果を再現することが、信頼性の高い流出モデルには必要である。

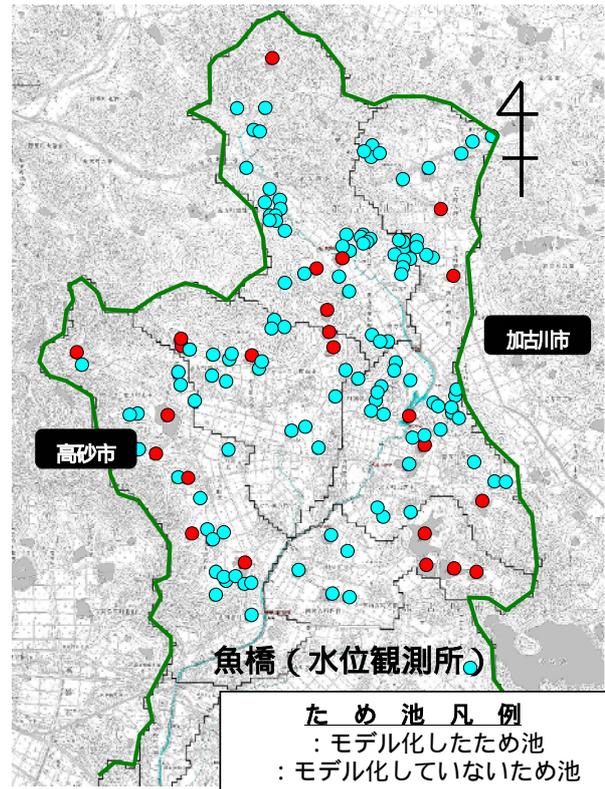
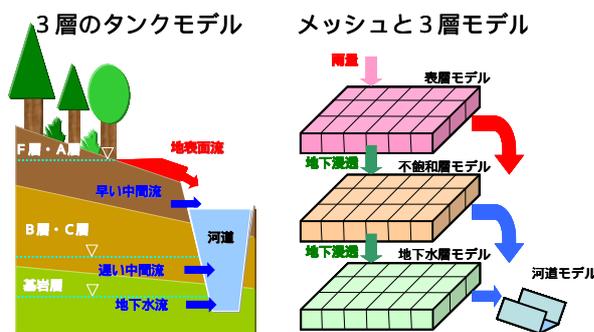


図-3 ため池の分布状況

法華山谷川で用いた分布型流出モデルは流域を50mピッチ(約16,000メッシュ)に分割し、メッシュ毎に流出量が計算できるため、高精度な流出解析が可能である。メッシュは図-4に示す ~ で構成された鉛直方向3層のタンクモデルと河道モデルで構成され、それぞれ流出特性が表現できる。



表層モデル:表面流・早い中間流・地下浸透
 飽和層モデル:遅い中間流・地下浸透
 下水層モデル:地下水流(基底流量)・地下浸透
 河道モデル:各タンクからの流入と支川流入

図-4 分布型流出モデルの構造

モデルには137のため池のうち、背後に集水域を持つ貯水容量2万 m^3 以上のため池24箇所(図-3)を抽出して組み込み、実績洪水を再現した(図-5)。

再現結果を合成合理式と比較すると、全体の再現性が高く、とりわけピーク部と洪水減衰部で優れている。モデルに用いた係数は土研が示す標準値と大きな乖離がなく、無理のない係数設定により再現性の高いモデルが構築できている。

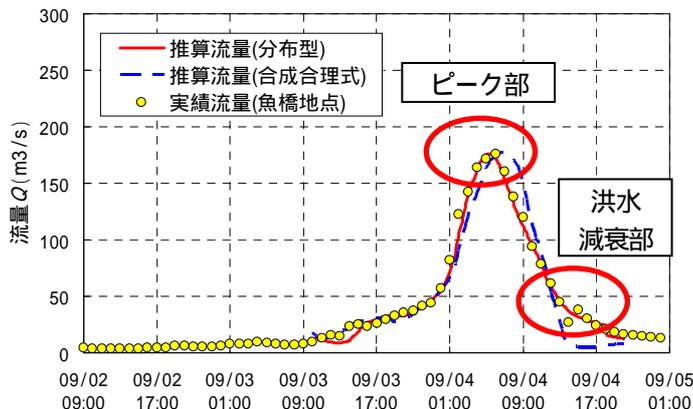


図-5 分布型流出モデルによる実績洪水の再現

4 ため池による流出抑制効果の算出

H23T12実績洪水を対象とした河道計画を検討する上での成果として、現状のため池がもつ流出抑制効果、及びため池の事前放流による流出抑制効果を確認した。構築したモデルを用いて、次の仮想2ケースで流出解析を行った。

ケース1 (現状のため池による流出抑制効果)

- ため池なし
- ため池あり(満水)

ケース2 (ため池の事前放流による流出抑制効果)

- ため池あり(満水) (は同条件)
- ため池あり(全量を事前放流)

ケース1の流量低下量を表-1,流出ハイドログラフを図-6に示す。

表-1 ため池による流量低下量(ケース1)

観測地点	ため池なし	ため池あり(満水)	-
魚橋	190	176	14

単位: m^3/s

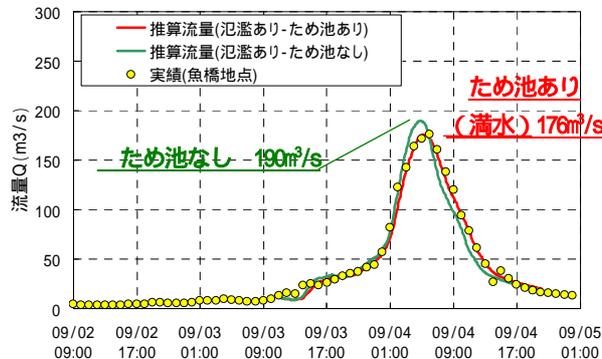


図-6 流出ハイドログラフ(ケース1)

現存するため池による洪水調節量は約 $14m^3/s$ で、ため池のなし($190m^3/s$)の7%程度の流出抑制効果を示している。

次に、ケース2の流出低下量を表-2, 流出ハイドログラフを図-7に示す。

表-2 ため池による流量低下量(ケース2)

観測地点	ため池あり(満水)	ため池全量事前放流	-
魚橋	176	142	34

単位: m^3/s

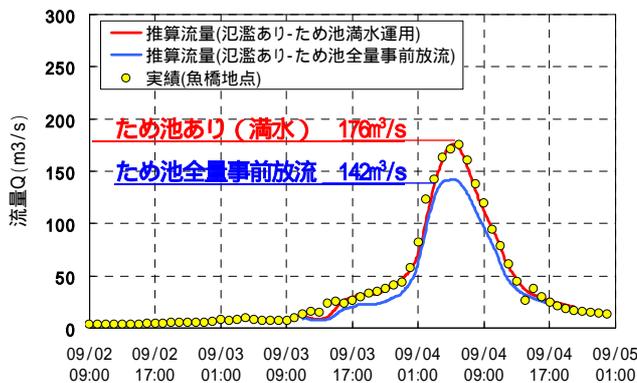


図-7 流出ハイドログラフ(ケース2)

ため池の全量事前放流による洪水調節量は約 $34m^3/s$ で、ため池のあり(満水: $176 m^3/s$)の約20%の流出抑制効果を示している。

ため池を保全し、治水活用することは、法華山谷川への流出抑制に効果があることが確認できた。ため池全量の事前放流を実施することは困難であるため、地域の理解が得られる現実的な対策を今後検討していく予定である。

4. 今後の課題と適用

(1) 今回の検討で確認された分布型流出モデルの長所・短所

分布型流出モデルは、地形の分布や特性を詳細に反映し、流出過程を精密に解析できる再現性の高いモデルである。流域内のため池等をモデルに組み込むことにより、法華山谷川流域が持つ高い保水・貯留機能が確認できた。今回の検討を踏まえた分布型流出モデルの長所・短所を以下に示す(表-3)。

表-3 分布型流出モデルの長所・短所

長所	<ul style="list-style-type: none"> ・土地利用の変化に伴う流出量や保水・浸透量の変化を定量的に表現できる。 ・ため池や水田、防災調整池などの流出抑制効果が流域メッシュ単位で評価できる。 ・流出成分ごと(表面流出、中間流出、地下水流出)の適切な評価ができる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・斜面の層厚、土壌、地質成分などの詳細なデータが必要である。 ・モデル構築とモデル定数の同定に経験と多大な労力を必要とする。

(2) 短所の解消方法

今後、他の流域での適用を視野に入れた短所の解消方法は次のように考える。

地理情報システム(GIS)と直結したモデルの開発

分布型流出モデルの構築には地盤高や土壌、土地利用といった分野を超えた詳細なデータが必要であり、今回の検討においてもGISデータを活用・変換してモデルの係数設定を行っている。地理空間情報活用推進基本法が施行され、土地利用図、地質図、浸水想定図など多様なGISデータの整備・拡充が図られており、コンピューターを用いる流出解析モデルとの相性も良いことから、GISデータと直結したモデルの開発が必要と考える。

適正な解析単位で汎用性の高いモデルの開発

今回、精密に流域特性を把握するため50mメッシュを解析単位としたことから、膨大な数の係数設定(19の係数×約16,000メッシュ)が必要となり、モデル構築には経験と多大な労力が必要であった。こうしたノウハウはコンサルタントが所有するため、他者ではモデルの修正が出来ず、使い勝手が良いとはいえない。

今後、解析目的や流域特性に適したメッシュサイズを踏まえてモデルを構築すること、またモデル構築後の汎用性・発展性も視野に入れたオープンなプラットフォームをベースにすることが必要と考える。

(3) 総合治水への適用

兵庫県では平成24年4月に総合治水条例を施行した。河川下水道対策、流域対策及び減災対策を組み合わせることにより、降雨による浸水の発生を抑制し、浸水被害を軽減するために、県・市・県民で総合治水を推進することとしている。

これまでの治水対策では、河川改修や下水道(雨水)整備を中心に取られてきたが、施設の想定を超える雨が降った場合の氾濫や、河川に至るまでの水路等での氾濫は防ぐことができず、大雨による浸水被害を抑えることが困難であった。こうした被害の軽減には、雨水を貯め・もしくは地下へ浸透させる流域対策が効果を発揮する(図-8)。



図-8 流出を抑制する流域対策の例

しかし流域対策を実施する多くの土地や施設が河川管理者以外の所有であることから、関係者の協力を得るには、その効果を示し、必要性を理解して貰うことが必要になる。

分布型流出モデルはモデルを構築すれば、流域対策の実施や流域内の土地利用の変化にも柔軟に追従できることから、総合治水の効果や必要性を示すツールとして利用価値の高いものである。表-3に示すような短所があることから、まずは流域対策を率先して取り組むモデル地域等において分布型流出モデルを適用し、河川や地先への効果を明らかにすることで、総合治水の推進を図りたい。

謝辞：本稿の発表にあたり、県加古川土木事務所を中心とした「法華山谷川流域治水対策技術検討会(座長：神戸大学宮本准教授)」及び解析業務を担当したパシフィックコンサルタンツ(株)の関係者に感謝の意を表します。