

2004年福井豪雨の洪水流出計算と中小河川流域の治水計画に関する考察

京都大学工学研究科 学生員 田窪遼一
京都大学防災研究所 正員 佐山敬洋

京都大学防災研究所 正員 ○立川康人
京都大学防災研究所 フェロー 寶 馨

1 はじめに 2004年は災害の年であり、7月の福井豪雨による被害も甚大であった。降雨が極めて短時間に集中したために、ピーク流量は最大既往洪水の約2倍、約2400 m³であったと推定されている。流下能力1300～1500 m³をはるかに超えた河川水が氾濫し、5箇所の鉄道橋の流出、36箇所の堤防決壊を引き起こし、濁流が福井市街を襲った。人的被害は、死者・行方不明者5人、住宅被害は全壊69世帯、半壊140世帯、床上浸水4330棟、床下浸水9842棟にも及んだ[1]。本研究は、福井豪雨を対象として、足羽川流域（天神橋上流域、約350 km²）における分布型洪水流出モデルを構築し、天神橋地点の洪水流出量を推定することを目的とする。また、福井豪雨から見た中小河川流域の治水計画に関する考察を行う。

2 分布型モデルの構成 国土数値情報を用いて流域地形を忠実に取り込む分布型の物理流出モデルを構築する。流出モデルは、市川らが開発した分布型流出モデル[2]を用いる。数値地図50 mメッシュ（標高）をもとに斜面要素の流れ方向を決定し、流れを追跡して河道への流出量（ q m³/s）を算定する。次に、河道における流れを追跡して、流域下端での河川流量を算定する。斜面部、河道部の流れとも、キネマティックウェーブモデルを用いて雨水を追跡する。土層は重力水が発生する大空隙部分（透水係数 k_a m/s）と毛管移動水の流れの場であるマトリックス部分（透水係数 k_a/β m/s）から成ると考える。水深（ h m）により三種の状態（図1）を考えることになる。

- 0 $h < d_m$, 不飽和状態
- d_m $h < d_a$, 飽和状態（中間流）
- d_a h , 飽和状態（表面流）

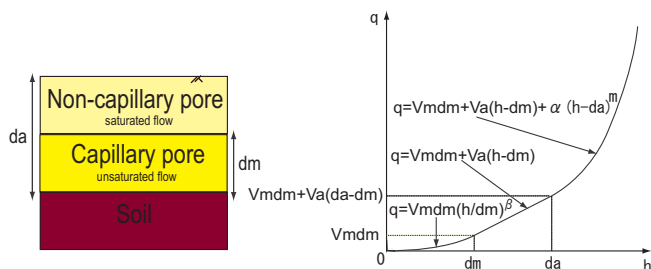


図1：土層構造図・流量流積関係式

入力データは地上雨量データ（時間分解能：1時間）であり。対象流域に一边3 kmのメッシュをかけ、

表1：ピーク流量比によるパラメータの評価

F \ P	1993 1982 1981	1985 1979 1983	1990 1989 2004
1993	1.03 0.91 0.86	0.77 0.69 0.49	0.47 0.42 0.47
1982	1.02 0.94 0.92	0.87 0.87 0.49	0.48 0.46 0.45
1981	0.87 0.90 0.88	0.74 0.72 0.60	0.48 0.45 0.45
1985	1.13 1.06 0.96	1.00 0.91 0.89	0.73 0.62 0.62
1979	1.77 1.65 1.61	1.17 1.02 0.96	0.64 0.52 0.48
1983	1.08 1.08 1.03	0.99 0.91 0.91	0.75 0.68 0.71
1990	1.84 1.75 1.65	1.60 1.44 1.42	1.04 0.90 0.97
1989	1.23 1.20 1.33	1.20 1.13 1.08	0.95 0.94 0.91
2004	1.85 1.82 1.71	1.58 1.55 1.26	1.12 1.08 1.00
AVE.	1.31 1.26 1.22	1.10 1.03 0.90	0.74 0.67 0.67

各グリッドセルにはグリッドセルの中心から最も近い観測所の地上雨量の値が入るように、地上雨量データを空間的に分布する雨量分布データに変換した。

3 8既往洪水の再現 流出モデルのパラメータ同定は、 k_a m/s：大空隙での飽和透水係数、 d_a m：大空隙に相当する層厚、 d_m m：マトリックス部の層厚、 β ：大空隙の飽和透水係数とマトリックス部の飽和透水係数の比の4つを変化させる。斜面の等価粗度 $0.4 \text{ m}^{-1/3}$ s、河川の粗度 $0.03 \text{ m}^{-1/3}$ sを固定した。入力する初期値は計算開始時刻の観測流量を用いて定常状態を仮定し、初期の土壌水分状態を決定した。まず1つの既往洪水をよく再現できる（ピーク流量、ピーク出現時間が観測値に適合することを重視）パラメータをトライ＆エラーで同定した後、他の7つの既往洪水に適用してその確からしさをピーク流量比：式（1）で評価した。 $Q_{S_{peak}}$ m³/sは計算ピーク流量、 $Q_{O_{peak}}$ m³/sは観測ピーク流量を表す。ここで、 P_{ratio} が0.85～1.15の時に再現性が高いという基準値を設定した。さらに、2004年洪水国土交通省推定流量の妥当性を検証するため、その推定流量でパラメータを同定し、既往洪水に適用した。表1に8既往洪水と2004年洪水国土交通省推定結果から同定したパラメータの評価結果を示す。

$$P_{ratio} = Q_{S_{peak}} / Q_{O_{peak}} \quad (1)$$

4 再現結果の考察 表1から8既往洪水全てをよく再現できるパラメータを同定することは困難であることが分かる。そこで、各既往洪水で同定した8パラメータを2004年洪水に適用して、予測の幅をもって

2004年洪水を再現した（図2）。結果はピーク流量が約 $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ ~ $4300 \text{ m}^3/\text{s}$ の値となり、国土交通省の推定流量約 $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ よりも全てが大きな値となった。その原因は、2004年洪水時の再現降雨が過大であり、モデル構造が2004年洪水に対応していないことなどが考えられる。計算流量が過大となる事例は、2000年東海豪雨において本研究同様に、既往洪水から同定したパラメータを過去最大の洪水に適用した場合においても報告がなされている。

表1を縦に見ると、同定したパラメータを3グループに分類できる。各グループのパラメータはグループ内の既往洪水の再現性が高い。表1を横に見ると、比較的降雨がなだらかであった1981、1982、1983、1989年洪水は複数のパラメータにより、よく再現されており、パラメータの不確かさ（Equifinality）がある。他の不確かさとして、降雨・流量データの不確かさ、再現降雨の不確かさ、モデル構造の不確かさ等がある。したがって、1989年、1990年パラメータは2004年洪水をよく再現している可能性が高いからと言って、それらのパラメータが対象流域をよく表現しているとは言い難い。結果として、対象流域をよく表現する1つのパラメータを同定することは困難であった。

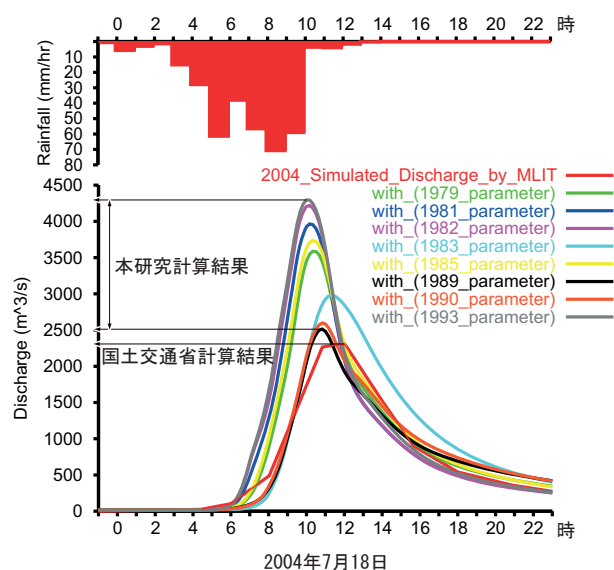


図2：2004年洪水再現結果

5 中小河川流域の治水計画の考察 本研究の対象である足羽川は九頭竜川水系に属しており、その計画降雨の継続時間も本流の九頭竜川と同様に「2日間」である。足羽川流域における計画降雨継続時間「2日間」の妥当性を2004年7月福井豪雨のデータをもとに考察する。

従来の足羽川流域治水計画では、過去の2日間継続雨量を過去最大である昭和34年洪水時の $350 \text{ mm}/2\text{days}$ となるように降雨を引き伸ばして洪水防御計画を策定してきた。しかし、2004年洪水時の雨量データを従来の手法通りに引き伸ばすと計画流量

は現実的でない値（本研究計算流量は約 $3300 \text{ m}^3/\text{s}$ ）になる。

2004年福井豪雨の洪水流出に影響を与えた降雨継続時間は7月17日23時から18日14時の「15時間」であり、総降雨量の85%以上が「6時間」に集中していた。したがって、計画降雨の継続時間は「2日間」よりも短期である「12時間」、「6時間」等の方が妥当であろう。問題は、2004年福井豪雨6時間雨量の発生確率規模は1/1000（表2）とされており、従来の計画手法では極端な確率規模を計画から除外する。しかし、統計的には稀な集中豪雨が発生し、甚大な被害をもたらしてしまったという事実がある。計画降雨の継続時間を「6時間」等の短期間とする場合は確率規模が極端であるからといって計画から除外するのではなく、現実には発生する集中豪雨の検証を行うべきである。この話は、足羽川流域に限ったことではなく、他流域においても現状の計画降雨の継続時間が妥当であるかどうかを検討する必要がある。

表2：福井豪雨継続時間別の雨量確率規模 [3]

	最大2日間雨量	最大6時間雨量
雨量	268.8mm	228.9mm
確率規模	1/25	1/1000
	過去3番目	過去最大

6 結論 分布型流出モデル、降雨分布データを用いて、複数の既往洪水を1つのパラメータで再現することは今回の福井豪雨に関してはできなかった。その原因は、雨量・流量データの不確かさ、再現降雨の不確かさ、パラメータの不確かさ、モデル構造の不確かさにあると考えられるが、これらの不確かさは分離が難しいのが現状である。

2004年福井豪雨から見て、数時間に降雨が集中する局所的豪雨に対する洪水防御計画の策定においては計画降雨の継続時間を「2日間」にするのは検討を要する。他流域においても現状の計画降雨継続時間の妥当性を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 国土交通省近畿地方整備局 福井土木部：平成16年7月福井豪雨による災害について（速報），近畿地方整備局 企画部ホームページ，<http://www.kkr.mlitt.go.jp/>
- [2] 市川 温・村上将道・立川康人・椎葉充晴：流域地形の新たな数値表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発，土木学会論文集，no. 691/II-57, pp. 43-52, 2001.
- [3] 九頭竜川流域委員会：第23回九頭竜川流域委員会資料，説明資料 - 2，福井豪雨の報告及びダムの効果について，平成16年8月31日，<http://www.fukui-moc.go.jp/ryuiki/index.html>