

洗掘災害を受けた河川における合成合理式に基づく流量推定に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 ○渡邊 諭 正会員 内藤直人 正会員 藤原将真

1. はじめに

豪雨時には河川の増水により橋脚周囲が洗掘を受け、傾斜や流失などの災害に至る場合がある。洗掘災害を防ぐためには、洗掘を受ける可能性が高い橋梁を抽出し対策を実施することが望ましい。そのためには、被災時の橋脚周りの流量規模を推定することが重要であるが、全国を網羅する鉄道橋梁が渡河する河川においては水文観測が実施されていない、あるいは実施されていても最近 10~20 年程の間に開始されたものが多く、被災時の流量や過去の降雨に伴う増水履歴が把握できず、統計的な分析が難しい事例がほとんどである。そこで、本研究では、過去の洗掘災害発生時を含む連続的な流量変化をアメダスで観測されているような長期間の降雨データから合成合理式により簡易的に推定する手法について検討した。

2. 合成合理式による流量推定の概要

降雨から河川流量を算出する方法には、合理式、合成合理式^{1),2)}、貯留関数法、総合確率法などがあるが、鉄道における多数の被災・無被災事例を整理する上では、流量算出に必要なパラメータ数ができるだけ少ない簡易な算定式を用いることが現実的である。ここでは、合理式を発展させた合成合理式を用いて河川流量を算出することとした。合成合理式は、まず図 1 のように対象領域を小流域に分割し各小流域の降雨波形から時々刻々と到達時間内の移動平均降雨強度から式①の合理式を用いて小流域の流量を算出し、各小流域の洪水到達時間を考慮して全ての小流域の流量を重ね合わせることで、対象領域全体の流量を算出する方法である。ここで洪水到達時間の算出は、パラメータが少なく最も簡易な式②であらわされる土研式を用いた。式中の最遠水平距離は各小流域の河川流路の長さとし、平均勾配は各小流域の合流点から流域界の標高最高端の高さ最遠水平距離との比で算出した(図 2)。なお、流域面積、河川流路の長さおよび標高は国土地理院の数値地形データから取得した。

$$\text{式① } Q = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad \text{式② } t_p = 0.00024 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.7}$$

Q : ピーク流量 (m³/s)
 r_e : 有効降雨強度 (mm/h) = 平均降雨強度×流出係数
 A : 集水面積 (km²)
 t_p : 洪水到達時間 (min)
 L : 最遠水平距離 (m)
 I : 平均勾配

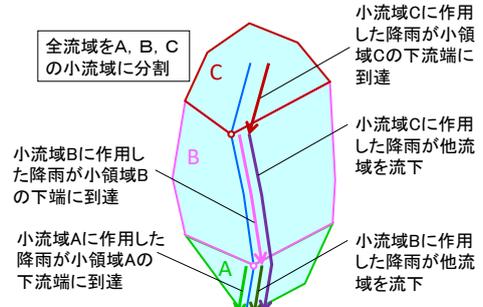


図 1 合成合理式の流域分割・流下イメージ

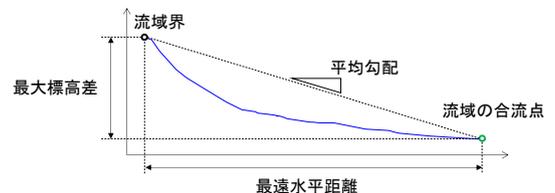


図 2 最遠水平距離と平均勾配

表 1 検討対象河川

橋梁	被災状況		河川			分割小流域数	アメダス観測点数
	被災年	被災概要	等級	流域面積	流量データ		
A	2006	洗掘による橋脚傾斜	一級河川の支流	179.8	2001~	11	3
B	2012	洗掘による橋脚傾斜	一級河川の支流	65.8	2001~	11	3
C	2017	洗掘による橋脚傾斜	二級河川	58.2	2001~ ※	11	3

※水位観測値からマンニング式で算出

3. 検討対象河川

検討対象となる河川の概要を表 1 に示す。対象河川は洗掘被害を受けた鉄道橋梁が架設された河川である。図 3 は、流域区分および少流域の接続図として、A 河川の例を示したものである。各小流域に入力する降雨は、アメダス観測点と河川全体流域との位置関係から各アメダス観測点が流域に占める支配面積とその割合を求め、その割合に応じて各アメダス観測点降雨量の加重平均を流域平均降雨量とするティーセン法により与えた。

4. 推定結果の妥当性の検証

式 1)、式 2)の各パラメータは数値地形により一義的に定まるため、ここでは流出係数のみが検討対象となるパラ

キーワード 合成合理式, 流量, 流出係数, 洗掘

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL 042-573-7263

メータである。長期間の降雨データに対し最適な流出係数を設定するため、推定流量と実測流量との RMSE（二乗平均平方根誤差）が最小となる流出係数を求めることとした。RMSE の算出にあたっては、雨量観測データの最小単位である 1 時間ごとの経時変化について求めることも考えられる。しかし、仮に数日単位のデータを抽出したとしても、抽出時期の偏りにより最適な流出係数とならない可能性があり、その検証にも多大な労力を要する。そこで、実測値が存在しない時期の流量を過去の数十年分の降雨データから簡易に推定するという目的から、各年における最大流量発生時の実測値と推定値の RMSE が最小となる流出係数を算出し、その値が流域全体において観測時期を問わず最適な流出係数であると仮定した。

図 4 は流出係数ごとの各河川における RMSE 値を示す。図から、いずれの河川も流出係数が 0.4 付近で RMSE が最小となることが分かる。一例として、A 河川における被災時の実測流量と流出係数を 0.4 と設定して求めた推定流量との経時変化の比較を図 5 に示す。図から、水位の減水過程における挙動はやや異なるものの、流量のピークや立ち上がりは一致していることが分かる。

図 6 は、各河川流出係数を 0.4 とした場合の年最大の実測流量と推定流量とを比較したものである。ばらつきはある程度あるものの、3 河川全体での決定係数は約 0.56 となる。他の研究事例でも、合成合理式を用いて実流量と整合する流出係数は 0.4 程度であることが報告されており、本検討成果は既往の研究結果^{3),4)}とも矛盾しない結果となった。これは、流量観測値が存在しない河川においても、アメダス観測データからある一定の精度で流量を推定できること、また、少なくとも年最大流量規模の出水を生じ得る降雨イベントを降雨観測データ中から抽出できる可能性を示唆している。

5. まとめと今後の課題

洗掘被災歴を有する河川流域を対象に合成合理式により流量を推定し、観測流量と整合する流出係数について検討した。その結果、流出係数を 0.4 と設定することで年最大流量発生時における実測値と推定値との誤差が最小となることが分かった。今回は 3 河川に限った検討であるため、他流域での検証事例を蓄積する必要がある。

参考文献

1)谷岡康, 福岡捷二: 都市中小河川・下水道の連携した治水計画—台地部既設市街地を対象として—, 土木学会論文集, No.733/II-63, pp.21-35, 2003.5. 2)渡邊暁人, 笹田拓也, 渡辺直樹, 山田正: 合成合理式の理論的導出, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, No.4, I_499-I_504, 2012. 3)高崎忠勝, 杉原大介, 岩屋隆夫: 中小河川の洪水予測に適した降雨流出モデルに関する検討, 平 20.都土木技術センター年報, pp.29-38, 2008. 4)高崎忠勝: 都市中小河川における実用的洪水流出モデルに関する研究, 博士論文 (首都大学東京), 2009.10 .

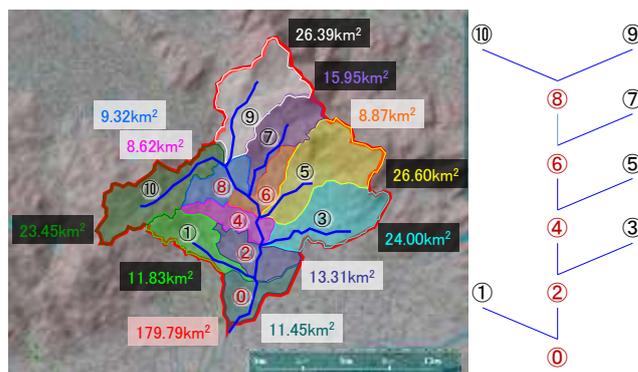


図 3 流域区分および少流域の接続図 (A 河川)

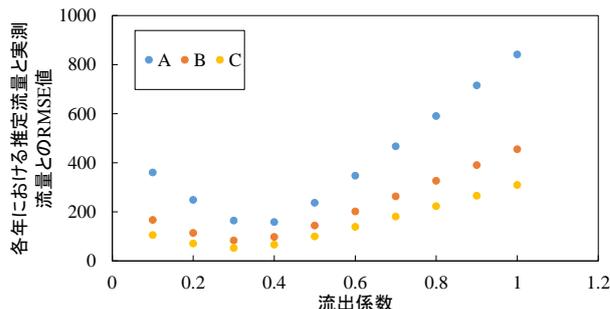


図 4 流出係数別の RMSE 値の変化

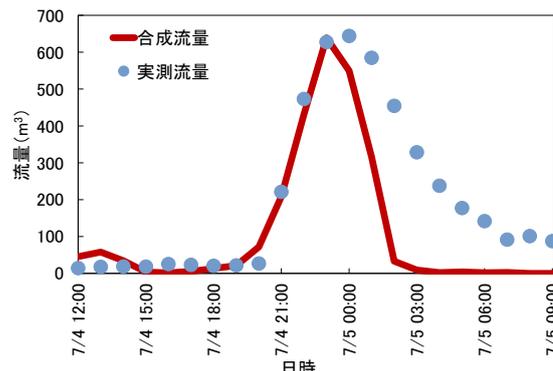


図 5 実測流量と推定流量の比較 (A 河川被災時)

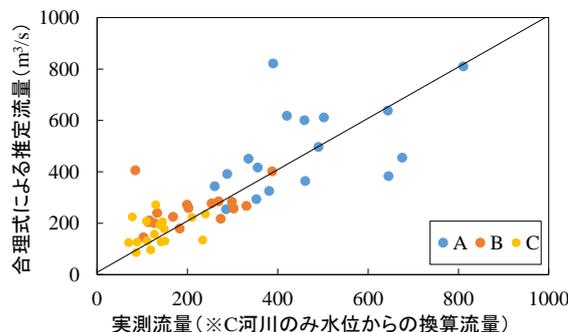


図 6 実測流量と推定流量の比較 (年最大流量発生時)