

砂防堰堤の建造年数と確率降水量を用いた流出解析に関する研究 広島県福山市の堂々川における大雨時の流量の予測 A Study on Runoff Analysis using the Construction Year of Check Dam and Probability Precipitation Prediction of river flow during a rainstorm in Doudougawa of Fukuyama City, Hiroshima Prefecture

○野々垣修慶*¹, 野々村善民*², 萩原春親 *³
Hisayoshi NONOGAKI*¹, Yoshitami NONOMURA*¹ and Haruchika HAGIWARA*²

*1 福井工業高等専門学校

National Institute of Technology, Fukui college. Student.

*2 福井工業高等専門学校 教授

National Institute of Technology, Fukui college. Professor.

*3 株式会社 サンワコン 空間情報部

Spatial Information Department, SANWACON Co., Ltd

キーワード：江戸時代；堂々川；iRIC；砂留；不透過型砂防堰堤；確率降水量

Keywords: Edo Period; Doudougawa ; International River Interface Cooperative;
Erosion-control masonry dam; Impermeable type sabo dam; Probability precipitation

1. はじめに

延宝元年（1673年）5月14日に梅雨の長雨により、現在の広島県福山市と府中市において集中豪雨が発生した。この集中豪雨により堂々川が氾濫した。なお、堂々川は福山市神辺町中条東山を起源する約4kmの溪流である。

福山地方の地形の多くは急峻であり、山の地質は極めて風化しやすい花崗岩から成る。また、江戸時代の日常生活の燃料は薪であり、植林が不十分であったために、江戸時代の福山藩における山地は荒廃していた。つまり山地の多くは禿山（はげやま）であった。従って、大雨による洪水によって山地崩壊が頻繁に発生していた。当時の福山藩は大雨による洪水発生に関する詳細な記録を残していた。また、洪水対策として建造された砂留に関する記録も残っていた。特に、堂々川で建造された6つの砂留については、計画段階の状況などが記録されていた^{1),2)}。

当時の記録によると、大雨の降水量および再現期間などは不明である。そのため、本研究では各砂留の建造された間隔（以下、建造間隔）は大雨の再現期間に相当するものとした。以上から、本研究は河川氾濫シミュレーションiRICを用いて、1時間降水量と堂々川における流量・流速の関係を明らかにすることを目的とする。上記の目的を達成するために、現在の気象庁の日最大1時間降水量のデータを用いて、本研究は福山市を含む地域を代表とする確率降水量を算出した。なお、本研究で定義する確率降水量は日最大1時間降水量とその再現期間（超過確率）である。

2. 研究計画

2.1. 堂々川の所在地について

図1に示すように、堂々川流域の所在地は広島県福山市神辺町である。図2は堂々川流域の3Dモデルである。図3は堂々川に建造された6つの砂留の位置図である。



図1 堂々川の所在地(広島県福山市)

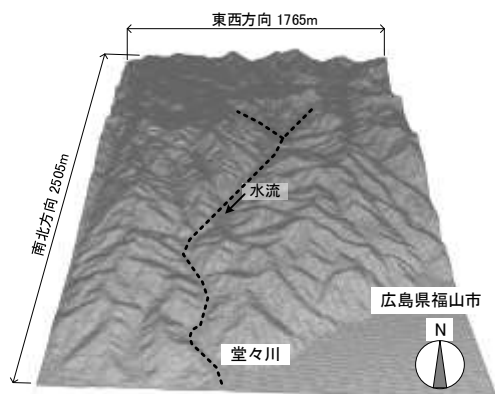


図2 堂々川流域の3Dモデル(iRICの解析領域)

最も川上側の六番砂留から最も川下側の一番砂留までの直線距離は 675m である。堂々川における 6 つの砂留で最も古いものは一番砂留であり、文献 1) および 2) に記されている福山藩における砂留の建造年を表 1 に示す。

本研究では、表 1 に示す砂留の建造間隔は大雨の再現期間とする。表中に示すように、建造間隔(大雨の再現期間)は 3 年~49 年となる。

2.2. 瀬戸内海沿岸の確率降水量の算出方法について

広島県福山市とその周辺地域を代表する確率降水量は、図 4 に示す瀬戸内海沿岸の 14 点の観測点における日最大 1 時間降水量の最大値を用いて算出した。

表 2 は各観測点の降水量データの解析期間である。広島の解析期間は最も長く 133 年間であり、開始年は 1888 年である。図 5 は瀬戸内海沿岸の確率降水量である。後述する流出解析では、3 つの解析ケースについて予測し、

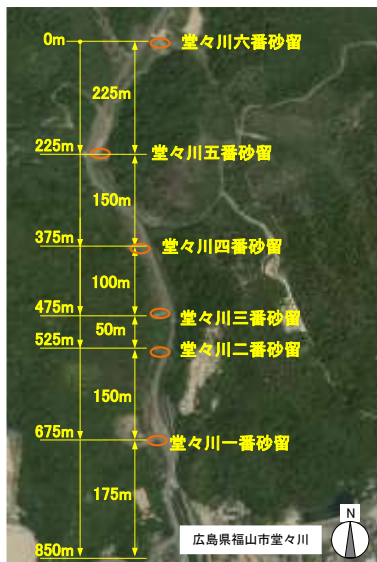


図3 堂々川における砂留の位置図

表1 福山藩の砂留の建造年と建造間隔(再現期間)に相当する日最大1時間降水量

建造年	砂留の名称	建造間隔	場所 (日最大1時間降水量)
1700	砂畑 3 箇所		広島県福山市堂々川 (78mm/h)
1732	鷺ヶ追砂留	32 年	広島県福山市堂々川支流 (61mm/h)
1738	深水古砂留	6 年	広島県福山市深水川 (82mm/h)
1787	本郷砂留	49 年	広島県三原市本郷川 (75mm/h)
1812	巖谷下砂留	25 年	広島県福山市福山 SA 付近 (70mm/h)
1832	堂々川 3 番砂留	20 年	広島県福山市堂々川 (54mm/h)
1835	とうとう筋大砂留	3 年	広島県福山市堂々川 (72.5mm/h)
1854	深水砂留	19 年	広島県福山市神辺町西中条:深水川

それぞれの 1 時間降水量は 43 mm/h, 78mm/h および 82mm/h とした。なお、3 ケースに用いた 1 時間降水量の再現期間は 1 年, 33 年, 49 年である。

2.3. iRIC を用いた流出解析について

表 3 は iRIC を用いた流出解析の主な解析条件である。なお、流出解析は一時間降水量の違いによる堂々川の流量などを予測することである。なお、堂々川の流量などを算出した際の解析時間は 2400sec である。

図 6 は流出解析の入力データとなる降雨量モデルである。この降雨量モデルは 2018 年 8 月 28 日に福山地方気象台で観測された連続した 10 分間降水量を 1 時間降水量で基準化したものである。



図4 瀬戸内海沿岸の観測点の位置(14 点)

表2 各観測点の解析期間(瀬戸内海沿岸, 14 点)

No.	地点名	解析期間
1	大竹	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
2	広島	1888 年 7 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
3	呉	1920 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
4	倉橋	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
5	呉市浦刈	2009 年 2 月 25 日~2021 年 12 月 31 日
6	久比	1976 年 1 月 1 日~2009 年 2 月 24 日
7	竹原	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
8	生口島	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
9	福山	1942 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
10	笠岡	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
11	倉敷	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
12	玉野	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
13	岡山	1933 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日
14	虫明	1976 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日

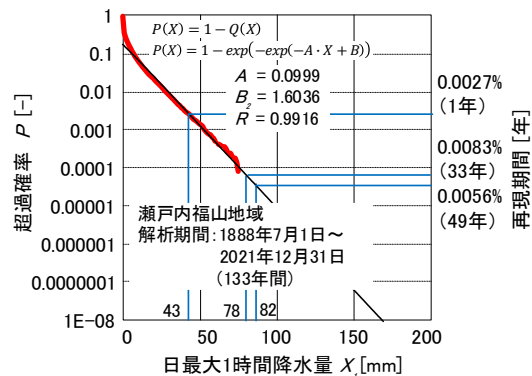


図5 瀬戸内海沿岸の確率降水量

表3 iRIC の解析条件 (流出解析)

No.	事項	内容
1	使用したソフト	iRIC (Nays2DFlood)
2	解析の対象地域	広島県福山市神辺町の堂々川周辺
3	地形データ	USGS 標高タイル (SRTM)
4	移流項の差分方法	CIP 分法
5	マンニングの粗度係数	0.035 [$m^{-1/3} \cdot s$]
6	解析領域側方の境界条件	自然流出
7	初期水面	水深ゼロ
8	降雨条件	局地集中型豪雨時の降雨量モデル. 図6を参照.
9	メッシュ数	176853 個 = 353 × 501
10	解析領域	東西方向 1765m × 南北方向 2505m
11	メッシュサイズ	5m × 5m

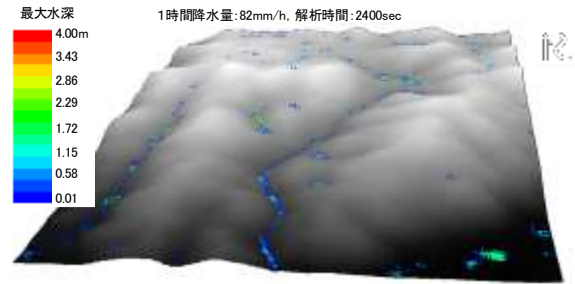


図8 堂々川における最大水深分布の3D表示
1時間降水量: 82mm/h, 解析時間 2400sec

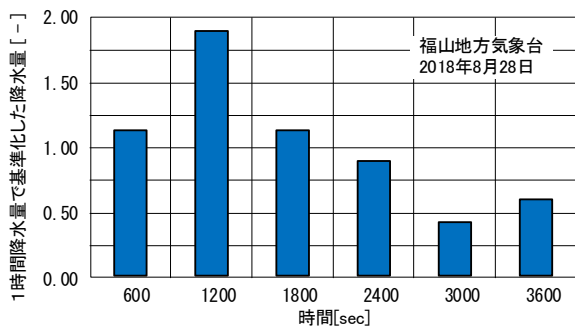


図6 降雨量モデル (福山地方気象台)

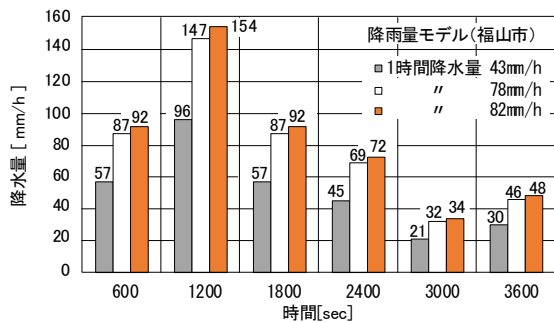


図7 iRIC による流出解析の入力データ
(連続した10分間降水量)

図7はiRICによる流出解析で入力した連続した10分間降水量である。図中の数値は3ケースの1時間降水量(43mm/h, 78mm/h, 82mm/h)に図6に示す降雨量モデルの割合を乗じたものである。

3. 解析結果

図8は堂々川における流出解析による最大水深の分布図である。1時間降水量は82mm/hであり、解析時間は2400secである。図中から堂々川流域における全ての分水嶺が解析領域に含まれていることがわかる。

図9は3つの解析ケースによる堂々川における流量 Q の変化である。流量を算出した地点は図3に示す6つの砂留の位置である。

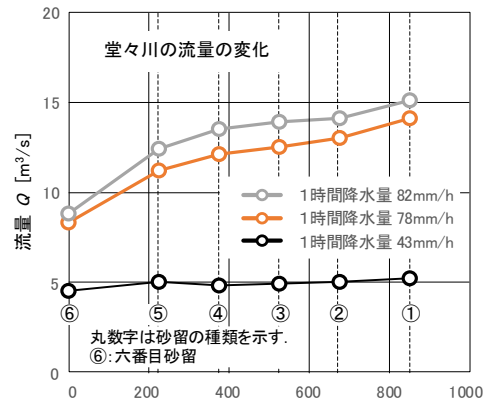


図9 1時間降水量の違いによる堂々川における流量の変化

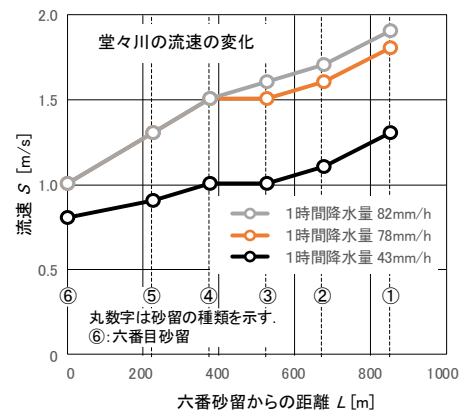


図10 1時間降水量の違いによる堂々川における流速の変化

1時間降水量が43mm/hである場合、 Q は最も川上側に位置する六番砂留からの距離 L に関係なく概ね一定値であり、4.5~5.2 m^3/s となる。1時間降水量が78mm/h以上である場合、 Q は L に比例して増加する。

図10は3つの解析ケースによる堂々川における流速 S の変化である。各解析ケースでは、 S は L に比例して加速する。

図11は1時間降水量43mm/hの流量 Q と六番砂留からの距離 L の関係と流速 S と L の関係の近似式とそのフィッティング状況を示す。上述したように、1時間降水量43mm/hの時、 L に関係なく、 $Q = 4.9 m^3/s$ となる。

図中に示すように、 S と L の関係は直線近似となり、決定係数 R^2 は0.9297となる。

図12は1時間降水量78mm/hの流量 Q と六番砂留からの距離 L の関係と流速 S と L の関係の近似式とそのフィッティング状況を示す。図中に示すように、 S と L の関係は二次の曲線近似となり、 S と L の関係は直線近似となる。共に高い相関を示し、 R^2 は0.9681と0.9445となる。

図13は1時間降水量82mm/hの流量 Q と六番砂留からの距離 L の関係と流速 S と L の関係の近似式とそのフィッティング状況を示す。図中に示すように、 S と L の関係は二次の曲線近似となり、 S と L の関係は直線近似となる。共に高い相関を示し、 R^2 は0.9619と0.9811となる。

以上のように、3ケースの流出解析によって、堂々川における流量 Q と流速 S は、最も川上側に位置する六番砂留からの距離 L を用いて近似式で表すことができる。

4. まとめ

広島県福山市の堂々川にある複数の砂留は江戸時代の1700年代に建造され、それらは記録に残る国内外最古の砂防堰堤である。これらの砂留の建造間隔が当時の大雨の再現期間に相当するものとした。

そこで、本研究は広島県福山市を中心とする瀬戸内海沿岸における確率降水量を用いて、江戸時代の福山藩における大雨時の堂々川の水流の状況を明らかにした。以下に得られた知見を示す。

福山藩が建造した6つの砂留の建造間隔は3年～49年であることがわかった。49年の建造間隔を大雨の再現期間とした場合、これに相当する大雨の一時間降水量は82mm/hとなることがわかった。

堂々川における流量と流速は、最も川上側に位置する六番砂留からの距離を用いて近似式で表すことができることがわかった。本稿で求めた近似式は、堂々川の氾濫解析の境界条件として利用できることがわかった。

今後の研究の展開は、6つの砂留の有無および砂留における土砂堆積などの影響について、上記の近似式を用いて氾濫解析を実施し、堂々川における水 flow の変化を予測することである。

5. 謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（基盤研究(C)、課題番号：20K04863、代表者：野々村善民）と2021年度近建設協会研究助成（代表者：野々村善民）を受けた。また、全国トース技術研究組合（国土交通大臣認可、国官技第236号）などから多大な支援を得た。また、専攻科生の吉森洋子氏にはiRICを用いた解析で支援を得た。本報の作成に当たって、多大な協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

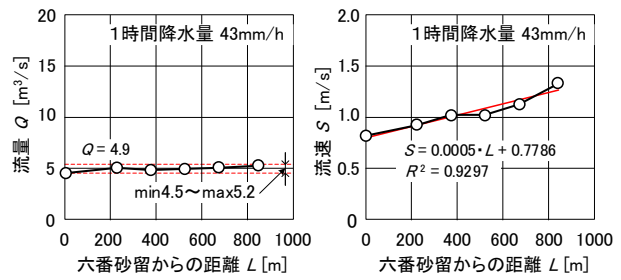


図11 堂々川における流量と流速の変化
(1時間降水量 43mm/h)

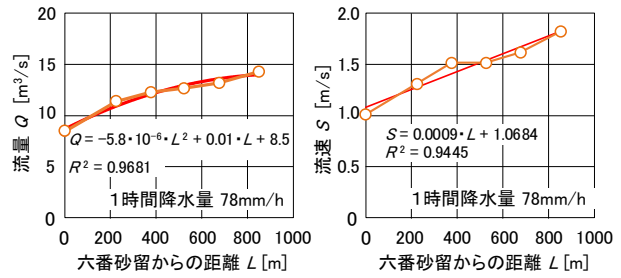


図12 堂々川における流量と流速の変化
(1時間降水量 78mm/h)

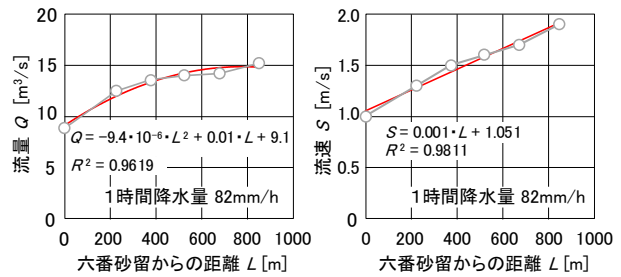


図13 堂々川における流量と流速の変化
(1時間降水量 82mm/h)

【参考文献】

- 1) 友松靖夫：石積み堰堤を追いかけて（下）、SABO vol.1.80, pp.37-pp.45, 2004年10月
- 2) 広島県土木建設局砂防課：福山藩砂留案内, 2022年3月15日閲覧
- 3) 野々村善民, 島脇優里：神戸地方気象台における確率降水量に関する研究 淀川チャネル型大雨の影響を受ける再現期間100年の降水量の算出方法, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム2020論文集, pp.364-36, 2020年12月
- 4) 野々村善民, 島脇優里, 萩原春親：戦国時代の一乗谷川における外水氾濫に関する研究 考古学的資料に基づく3Dモデルの作成と河川氾濫解析, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第44回情報・システム・利用・技術シンポジウム2021論文集, pp.161-166, 2021年12月