九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

城下町秋月に残る歴史的河川・水路網の治水機能の評価

兒玉，健佑
株式会社建設技術研究所大阪本社環境部

林，博徳
九州大学大学院工学研究院

https://hdl.handle.net/2324/7178809

出版情報：Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering). 78 (2), pp.I_307-I_312, 2022. Japan Society of Civil Engineers
バージョン：
権利関係：© 2022 Japan Society of Civil Engineers

KYUSHU UNIVERSITY

土木学会論文集B1(水工学) Vol.78, No.2, I_307-I_312, 2022.

城下町秋月に残る歴史的河川・水路網の治水機能の評価

兒玉 健佑[1]・林 博徳[2]

[1]非会員　株式会社建設技術研究所大阪本社環境部（〒541-0045　大阪府大阪市中央区道修町 1-6-7）
E-mail:kodamaken.river@gmail.com（Corresponding Author）

[2]正会員　九州大学大学院工学研究院准教授（〒819-0395　福岡市西区元岡 744）
E-mail: river3@civil.kyushu-u.ac.jp

本研究では，福岡県朝倉市秋月地区に残る空石積み護岸で整備された河川水路網に着目し，数値シミュレーションと現地踏査によってその治水機能の評価を試みた．治水機能は最大時間雨量約 100mm/h に達した 2017 年 7 月豪雨を再現した洪水氾濫シミュレーションとその 1.4 倍降雨量のシナリオの 2 つで評価した．その結果，空石積みで整備された河川・水路網は，コンクリート等の近代技術による整備と比べて流域下流端のピーク流量を減少させる効果があることが明らかとなった．河川や水路内の最大流速についても，空石積み護岸の設計流速 5m/s 以下に抑え，河道内構造物の安全性を高めていることが示された．さらに，秋月の水路網は河川と並行することで雨水流出の河道への集中を抑え，町内から下流に至るまで河川のピーク流量を低減させる機能があることが明らかとなった．

Key Words: *Nature-based Solutions, Natural Flood Management, Flood control, Historical dry masonry structure, Channel network*

1.　背景及び目的

気候変動，生物多様性危機，災害の激甚化等の世界的な問題を背景に，自然に基づいて課題解決に取り組むべきであるとして，国際自然連合（IUCN）により「Nature-based Solutions(NbS)」という考え方が提唱されている [1]．また近年，欧米で積極的に推進されている「Natural Flood Management(NFM)」では，下流のピーク流量を抑えるために河床の粗度を上げて流れを遅くすることが方針として掲げられている [2]．このように，自然を活用して流速を抑える手法が昨今の治水技術で世界的に注目を集めている．一方，日本国内では，国土交通省により「流域治水への転換」が河川管理の方針として打ち出され，流域全体で水害を軽減させる治水対策を進めることが必要であるとされている [3]．

河川や水路等の治水技術に着目すると，自然を活用する技術は数多く存在するが，その 1 つに空石積みがある．空石積みは石や砂などの自然物だけで構造物を構築する技術であり，コンクリート等の近代技術と比べて自然環境への親和性が高いことや，歴史的な町並みなどの景観になじみやすいといった特徴がある．また水理学的な特徴に注目すると，比較的高い粗度を有することも知られている [4]．そのため，空石積みの河川構造物は，冒頭にのべた NbS, NFM に合致する技術としてとらえることができる．

日本では，江戸時代を中心に城下町で発達した歴史的水路網が各地に残っている．それらは空石積みで整備されたことによる美景観 [5]，生物多様性の豊かさ [6]，地域の憩いの場・遊び場 [7]といった多機能性を有するとされるが，その治水機能を NbS や NFM という概念でとらえて，定量的に評価した研究はなされていない．

本研究では，河川・水路に存在する空石積みの構造物（石積み護岸や護床工）に着目し，それらの有する治水機能の定量的な評価を試みる．

本研究の対象地である福岡県朝倉市秋月地区は，歴史的建造物保存地区に指定されており，黒田藩の城下町としての歴史的な街並みや江戸時代以前から経年的に整備・管理されてきた歴史的河川・水路網が現存する．秋月地区の河川・水路網は，護岸や河床の多くが空石積みで整備されてきたという特徴を有する．その河川・水路網は，近代技術であるコンクリート等の整備手法で整備された構造物と比べると粗度が大きいことから，NbS, NFM に沿う治水効果を有するものと推測されるが，その科学的な評価はなされていない．また，秋月地区は，その景観や環境の秀逸さから，筑前の小京都と称されるなど，福岡県でも著名な観光地としても知られている．そのため，秋月地区では，景観や環境の保全は，地域経済上も重要な課題であり，その景観の骨格を成すのが河川や水路に現存する空石積みの構造物である．しかしながら，秋月地区では，災害等で河川や水路が被災する度に，

排水や簡便さ重視の整備により，空石積みは徐々にコンクリート構造物等に置き換わりつつある．このことは，地域経済の観点からも大きな損失である．このように排水や簡便さ重視の整備が行われ空石積みが失われる背景には，空石積みの有する本来の治水機能が正しく評価されていないことが一因とされる．そのため，秋月地区の街並み保全の観点からも，空石積みによる治水の特性を定量的に評価することが求められている．以上の背景を踏まえ本研究では，秋月の空石積み中心の河川･水路網の有する治水機能を定量的に評価することを目的と定める．

2. 研究手法

(1) 解析モデルの概要

本研究では秋月における歴史的水路網の治水機能および空石積み中心の総合的治水システムを，水路網と河川を一体とした解析モデルにより定量的に評価する.解析は日立パワーソリューションズ開発のリアルタイム洪水シミュレータ「DioVISTA/Flood[8)]」を用いて実施した．本解析ソフトは，流出モデル・河川モデル・氾濫モデルの3 つからなる．流出モデルは，キネマティックウェーブモデルによる分布型流出モデルを採用している．河川モデルは，河川を 1 次元不定流として取り扱っている．氾濫モデルは，流れを 2 次元不定流として取り扱う．水路と河川は共に「河川モデル」で表され，氾濫モデルと相互に接続するため，越流のみならず氾濫流が再び戻る，あるいは他の河川・水路に流入する現象も考慮されている．本研究で対象とした計算範囲は，秋月地区全体を網羅する 3km×5km の範囲である．モデルの作成に使用したデータは以下の通りである．再現計算で用いる令和 3 年 8 月豪雨および平成 29 年 7 月豪雨の降雨量は秋月降雨観測所の雨量データより作成したハイエトグラフより与えた．さらに,温暖化を想定した豪雨として，国土交通省による地球平均気温 4 度上昇時の試算より，平成 29 年 7 月豪雨のシナリオを 1.4 倍に引き延ばした降雨シナリオを同様に実施した．なお，いずれもタイムステップは 10 分である．地形データは，平成 29 年度記録的短時間大雨に伴う被災箇所緊急航空レーザー測量結果（国土交通省提供）より 2mメッシュデータを使用した．河道データは地形データより横断面を取得し，50m ごとに設定した．水路網の横断データは，現地測量により，10m ごとに設定した．野鳥川の下流端水位は現地で水位ロガーにて観測された値を用いた．河川・水路モデルの粗度係数は既往の知見を参考に空石積み護岸を 0.03，コンクリートを 0.02，自然状態を 0.045 と設定した[10),12)]．河床の石畳に関しては，平成 29 年 7 月豪雨後の洪水痕跡水位と流量から 0.06 と推測されたためこれを採用した．氾濫モデルは 2 次元不定流より解析される．本研究では流域のスケールを考慮し計算メッシュ精度は 2m とした．方程式は浸水想定区域図作成マニュアル第 4 版(国土交通省，2017)記載の浸水解析における基礎方程式を採用した．この方程式では建物の影響を考慮する空隙率が設定できるため，家屋は 0.1,それ以外は 1 と設定した．また，氾濫原の粗度も同様に浸水想定区域図作成マニュアル第 4 版を参照し，住宅地を 0.04，道路を 0.025，その他の山地，緑地を 0.05 と設定した．水路の分流に関しては，分流流量を横断幅比で簡易的に設定した．河川から水路へは，住民へのヒアリングにより大雨時は水門を閉じるようにしているとのことであったため，分流しないこととした．なお，解析で想定するケースは，粗度や水路網の機能を比較するための以下に示す 4 ケースである．

ケース 1：現状（現状の秋月の状態）
ケース 2：全て石積み（河川と水路網全てを空石積みで整備された場合）
ケース 3：全てコンクリート（河川と水路網全てコンクリートで整備された場合）
ケース 4：水路なし（歴史的水路網が存在しない場合）

以上 4 ケースを平成 29 年 7 月豪雨およびそれを引き延ばした，より甚大な豪雨の 2 つの降雨シナリオで実施し，計 8 ケースの解析を実施する．なお，本解析実施の前に令和 3 年 8 月豪雨の再現計算を行い，解析モデルの精度を確認する．十分な再現性があることを確認したのち本解析を実施する．

(2) 現地調査

現地調査により**図-1** に示すように秋月の河川および水路網の現状を把握した．水路網は野鳥川の上流で両岸の水路から取水され，それら水路を軸として町内で網目状に構築されていた．確認された水路は総延長約 9km で，その約 5%の水路床が石畳として残っていた（**図-2**）．それ以外の水路床は，自然床が約 48%，コンクリートが約 47%であった．河川に関しては，野鳥川，天神川，鳴門川，空谷川の 4 河川で調査区間約 5.5km のうち約 90%が自然河床，残り約 10%が石畳河床であった（**図-3**）．

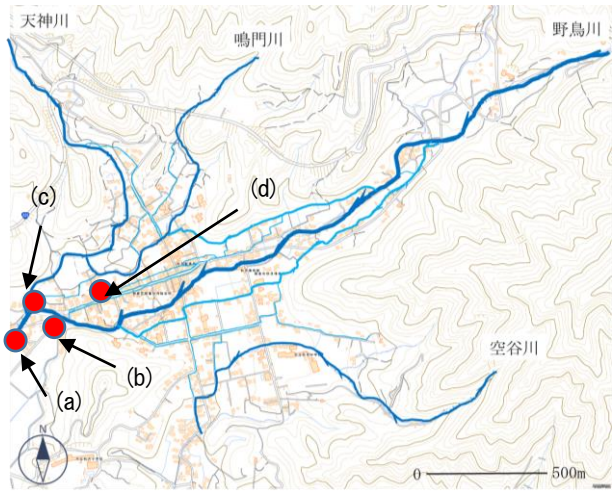

図-1 秋月の河川・水路網の分布（濃い青線は河川・水色線は水路網の位置，赤丸は水位計設置位置を指す．なお赤丸のアルファベットは再現計算結果の章で記載する水位計設置位置と対応している）
出展：電子国土基本図[11)]を加工して作成

図-2　秋月で確認された水路の空石積み護岸（右岸）と石畳

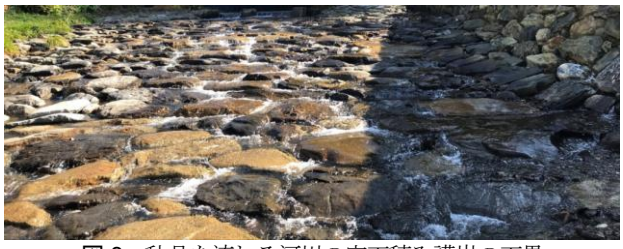

図-3　秋月を流れる河川の空石積み護岸の石畳

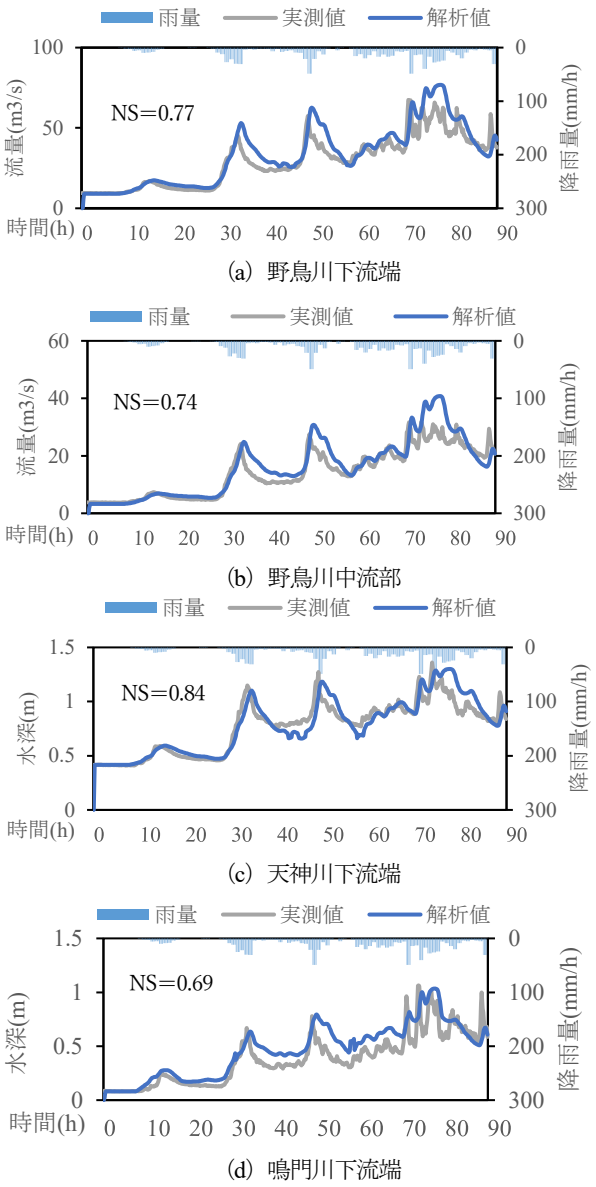

図-4　各水位位計設置地点における実測水位から求めた流量と解析結果で得られた流量の比較によるモデル再現性の検証結果

図-5　数値解析により得られた浸水範囲（図中黒く塗りつぶされている点が浸水発生箇所，赤いハッチは住民にヒアリングして確認した当時の浸水範囲）．本結果は「ケース１：現況」の各メッシュの浸水深の最大値を求め，浸水が確認された箇所を黒く色付けしたものである．

3.　結果

(1)　再現計算結果

令和 3 年 8 月に観測された降雨における実測値（水位計設置個所の観測水位から求めた各地点の流量）と，本モデルによって計算した解析値（水位計設置個所と同じ地点での算出流量）を比較し，Nash-Sutcliffe（NS）指標よりモデルの精度を確認した．なお，NS 指標は以下の式で定義され，一般的に NS 指標が 0.7 以上であればモデルの再現性が高いと評価される[9]．

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\{q_0(i) - q_c(i)\}^2}{\sum_{i=1}^{N}\{q_0(i) - q_{av}\}^2}$$

$$q_{av} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} q_0(i)$$

$$NS \geqq 0.7\text{: 高い精度}$$

実測値として，(a) 野鳥川下流端流量，天神川合流点より上流の (b) 野鳥川中流部における流量，(c) 天神川下流端水深，(d) 鳴門川下流端水深を取得した（観測点位置は**図-1** 中に記載）．**図-4** (a) ～ (d) に各地点における実測値と解析値の比較結果および NS 値を示す．NS 指標は鳴門川のみ若干基準値である 0.7 に及んでいないものの全体的に高い再現性が得られた．

(2)　平成 29 年 7 月豪雨シナリオの解析結果

本節では数値解析により得られた結果について述べる．**図-5** に解析により得られたケース 1 の浸水範囲を示す．同時に住民にヒアリングして確認した当時の浸水範囲も比較のため示す．解析対象範囲にある河川では，天神川および鳴門川からの氾濫が確認された．一方，野鳥川および空谷川からの氾濫は確認されなかった．また，河川氾濫が生じた場所の多くは田圃として利用されている場所だった．水路網では，主として天神川と鳴門川沿いの水路での氾濫・浸水が確認された．なおその他の解析ケースにおいても主たる氾濫箇所や浸水場所の傾向は同様であった．

以下，各ケースの浸水範囲，浸水深，河川の下流端流量，河川内流速について詳しく比較する．なお，浸水範囲は最大浸水範囲であり，浸水深については各メッシュの最大値を扱っている．最大流速は流量が最大となった

時点における各断面の流速とした．

各ケースの浸水範囲の比較を**表-1** に示す．ケース 2，1，4，3 の順で浸水範囲は大きくなった．すなわち河川・水路内の粗度が高いほど浸水範囲は広くなる結果となった．

図-6 に浸水深の比較を箱ひげ図で示す．浸水深の大小は浸水範囲と同じ傾向を示したものの，いずれのケースも得られた値の 75%以上が浸水深 50cm 以下であり，床下浸水程度であるという結果となった．なお，ケース 1 の浸水深および浸水範囲については，現地調査時に住民にヒアリングして確認した平成 29 年 7 月豪雨時の痕跡ともおおむね一致していた．次に，流量比較の結果を**図-7**，**図-8** に示す．**図-7** の通り，河道粗度の高いケース 2 ではピーク流量がケース 1 に比べて約 9%減り，河道粗度の低いケース 3 では約 7%増えるという結果となった．**図-8** を見ると，ケース 4 の場合もケース 1 と比較してピーク流量が約 7%増加するという結果となった．続いて，河川・水路網の改修方法の違いによる野鳥川（本川河道）の流速の比較結果を**図-9** に箱ひげ図として示す．ケース 2 では 5m/s 以下となっているのに対し，ケース 3 は最大で 8m/s，平均でも 7m/s 以上になるという結果となった．ケース 3 における流速分布は，美しい山河を守る災害復旧基本方針(国土交通省, 2018)[13]におけるコンクリート護岸の設計流速 8m/s を満たす限界となっている．一方，ケース 2 では同資料における空石積み護岸の設計流速 5m/s を十分満たしていた．

各ケースの洪水氾濫現象の特徴をまとめると河道・水路内の粗度が高いケースほど浸水範囲・浸水深が大きくなることが確認できた．一方で浸水深は概ね床下浸水程度であり，実際の平成 29 年 7 月豪雨時においても秋月地区では顕著な浸水被害は報告されていないことから，秋月地区においては総じて氾濫流による浸水被害のリスクは小さいと考えられる． また，ケース 1 と 4 の比較より，水路網がない方が浸水範囲は狭い結果となった．これは水路からの越流がなくなったからであり，**図-7** に示すように河川のピーク流量は増加していることから，河川からの越流量は増加していると考えられる．浸水範囲は狭くなるものの，越流量が増加したことから，浸水深が増加することが考えられる．実際，**図-6** をみるとケース 1 よりケース 4 の方が浸水深は大きくなっている．このことから，水路網が存在することにより河川の負担を軽減する効果が生じているととらえることもできる．水路があることにより少しずつ洪水を氾濫させリスクを分散する機能があると考えられる．ケース 2，ケース 3 では流域下流端におけるピーク流量に違いが生じた．ピークの遅延は生じていないため，流量の違いは水路および河川（主に鳴門川や天神川付近）で氾濫したことによる水量の増減によって生じていると考えられる．一方，ケース4の場合もケース1と比べピーク流量は増大したが，この理由については以下に考察する．**図-10** にケース 1 と 4 の野鳥川の最大流量を縦断方向に比較したものを示す．グラフを見ると,上流域から既にピークカットが生じている．この地点はちょうど野鳥川上流の，両岸から水路が並行し始める地点となっている．流出した雨水は野鳥川に直接至ることなく水路により下流域まで迂回させられていると考えられ，それによって河道のピーク流量がカットされていると考えられる．

表-1　浸水範囲

ケース	浸水範囲（㎡）
ケース１（現状）	25776
ケース２（すべて石積み）	36708
ケース３（すべてコンクリート	10140
ケース４（水路なし）	19208

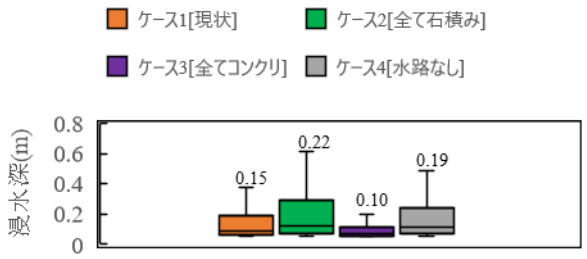

図-6　ケースごとの浸水深比較（グラフ内数値は平均値を示す）

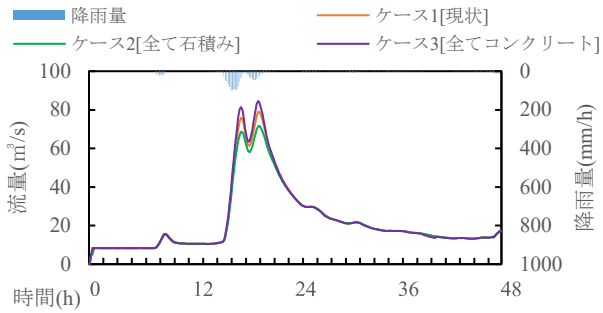

図-7　改修方法の違いによる流域下流端流量比較

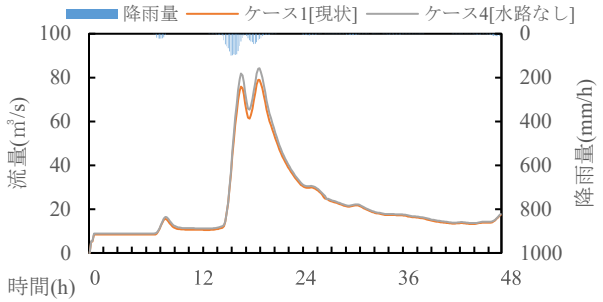

図-8　水路網の有無による流域下流端流量比較

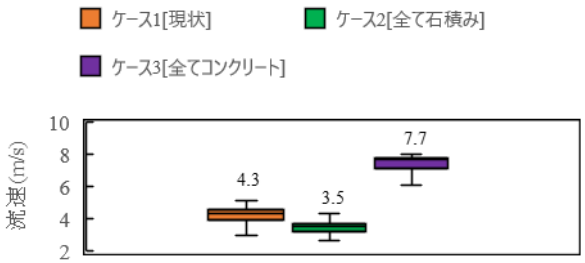

図-9　河川・水路網の改修方法の違いによる野鳥川縦断方向最大流速分布の違いの比較（グラフ内数値は平均値を示す）

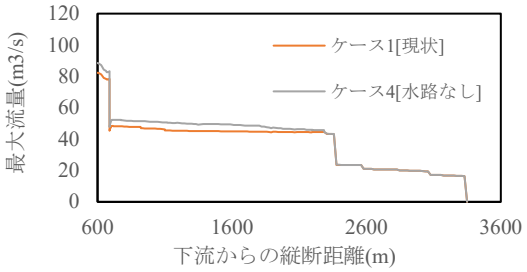

図-10　野鳥川縦断方向最大流量の遷移

表-2　降雨 1.4 倍シナリオでの浸水範囲

ケース	浸水範囲（㎡）
ケース１（現状）	68636
ケース２（すべて石積み）	81788
ケース３（すべてコンクリート	40548
ケース４（水路なし）	59274

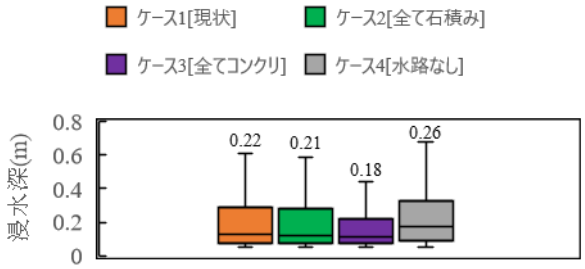

図-11　降雨量 1.4 倍シナリオでのケースごとの浸水深比較
（グラフ内数値は平均値を示す）

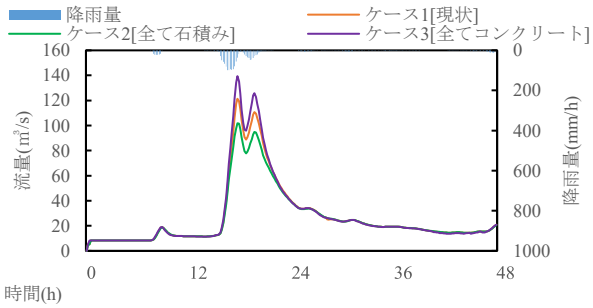

図-12　降雨量 1.4 倍シナリオでの改修方法の違いによる
流域下流端流量比較

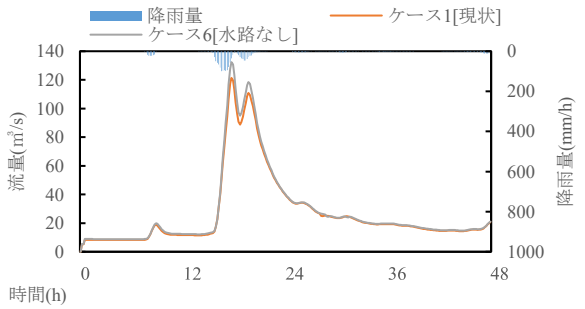

図-13　降雨量 1.4 倍シナリオでの水路網の有無による
流域下流端流量比較

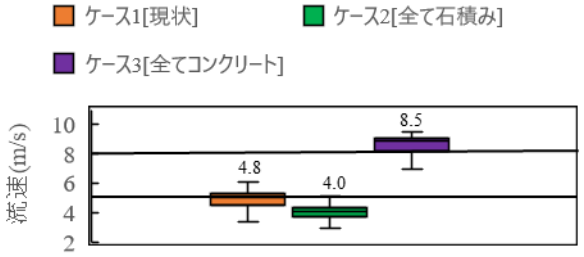

図-14　降雨量 1.4 倍シナリオでの河川・水路網の改修方法
の違いによる野鳥川縦断方向最大流速分布の違いの比較
（グラフ内数値は平均値を示す）

(3)　降雨量 1.4 倍シナリオの解析結果

降雨 1.4 倍シナリオの結果を**表-2**，**図-11**～**図-14** に示す．どの結果も各ケースの大小関係は，平成 29 年豪雨シナリオの解析結果と変わらなかった．浸水範囲（**表-2**）・浸水深（**図-11**）に関しては最大値が増加したものの全体的な分布は降雨量 1.4 倍シナリオでも床下浸水程度であった．下流端流量（**図-12**，**図-13**）についてもすべてケースでピーク流量が 50%ほど増大したもののケース間の大小関係に変化はなかった．野鳥川縦断方向の流速分布ではケース 3 において集計地点の 75%以上がコンクリート護岸の設計流速[13]を上回る結果となった（**図-14**）．逆にケース 2 では降雨 1.4 倍であっても 75%以上の地点で空石積み護岸の設計流速[13]以下に流速が抑えられていた．

4.　考察

(1)　秋月地区の洪水氾濫の特性

本研究では秋月地区を対象として，河川・水路網の改修方法の違いや水路網の有無などを想定した 4 つのケースで豪雨時の洪水氾濫現象について明らかにした．

ケース間の比較から，河川・水路網の粗度が高いほど洪水氾濫は発生し易いことが確認されたものの，いずれのケースでも浸水深が概ね床下浸水以下であったことから，そもそも秋月地区では河川・水路網に起因した浸水氾濫の被害（特に浸水被害）が甚大化しにくい特性を有するものと推測される．これは秋月が扇状地上部に位置し地形勾配が大きいという地形的特性を有することや，数百年前から城下町として整備されてきた地域であり，災害を受けにくい住宅配置や河川・水路網の整備が行われてきたこと等が要因と思われる．事実秋月地区は平成 29 年豪雨 7 月九州北部豪雨災害で甚大な被害を受けた朝倉市に位置しながら人家や人的被害をほとんど受けなかった．

(2)　河川・水路網の改修方法の違いが秋月地区の治水安全性に及ぼす影響

ここでは，ケース 2（すべて石積み）とケース 3（すべてコンクリート）の解析結果の対比に絞って考察する．両者の基本的な違いは，河川・水路網の物理的構造であり，解析上は粗度係数の違いとして扱われる．石積みは粗度係数が大きいため，支流や水路網で容易に水位上昇がおこり，頻繁に氾濫が生じる一方，河川流速の低減や本流のピーク流量を抑えるという特徴がある．他方，コ

ンクリートは粗度係数が小さいため，支流や水路網での氾濫が軽減される一方で，流速の増大や下流でのピーク流量の増大をもたらす．特に，流速の増大については，コンクリートによる整備では多くの既存構造物の設計流速を超えるため，構造物の破壊という決定的な被害をもたらす可能性が高い．また，氾濫による浸水被害が甚大化しにくいという秋月地区の地形的特性も考慮すると，石積みによる整備は,非常に理にかなった整備といえる．浸水被害に着目すると，住民の災害意識に関する既往知見によると，治水整備が進むと浸水頻度が低下するとともに住民の災害意識も低下するという報告[14]もある．すなわち，浸水し易いことは住民の災害意識の低下を防ぐ効果があることが指摘されており，大きな被害を生じない浸水は，かえって地域のレジリエンスを高める可能性もある．秋月地区の伝統的な石積みによる河川・水路網は，洪水被害を分散し，かつ地域全体としてのレジリエンスを高める効果を発揮する可能性があり，持続的に安全な地域を維持する上でも重要であると思われる．

5. 結論

本研究では城下町秋月に残る空石積みで整備されてきた歴史的河川・水路網の治水機能を定量的に評価することを試みた．以下に本研究で得られた結論を示す．

1. 秋月の歴史的河川・水路網は，上流側の支流や水路で比較的容易に氾濫を起こすことにより，下流部のピーク流量を減少させる機能を有する．
2. 秋月の河川・水路網は氾濫および浸水が発生しやすい特性を有するが，浸水場所の多くは田圃であり，その浸水深は床下浸水程度である．
3. 秋月の河川・水路網は洪水時の河川流速を低減する機能を有する．具体的には平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の 1.4 倍豪雨を想定した解析においても，野鳥川の最大流速を空石積み構造物の設計流速 5m/s 以下に抑えていた．すなわち，既存構造物の保全・持続的維持管理にも寄与している．
4. 秋月の水路網は，山地からの流出を受け止め雨水を下流域まで迂回させることにより，水路合流点までの河川のピーク流量を減少させる機能を有する．

謝辞 : 本研究は，科研費 17K12842，世界自然保護基金(2020-21)，国土交通省河川砂防技術研究開発公募地域課題分野（河川生態）筑後川研究の助成を受けた．ここに感謝いたします．

参考文献

1) E. Cohen-Shacham, G. Walters, C. Janzen, S. Maginnis.: Nature-based Solutions to address global societal challenges, Gland, Switzerland: IUCN, 2016.
2) Stuart N. Lane.: Natural Flood Management, WIREs Water, 4(3), 2017
3) https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_pro/index.html
4) Abul Basar. M. Baki., David Z. Zhu., Nallamuthu Rajaratnam.: Mean Flow Characteristics in a Rock-Ramp-Type Fish Pass, Journal of Hydraulic Engineering, 140 (2), 2014
5) 小林宏康，筒井義冨，千賀裕太郎，水路景観に美しさを与える水深の定量化，農業土木学会論文集， 223，117-125，2003
6) 堀野治彦，中桐貴生，荻野芳彦，環境配慮型用水路の魚介類生息および通水機能への影響評価，農業農村工学会論文集，254，pp77~83，2008
7) 松浦茂樹，島谷幸宏，我国城下町都市における水空間とその変遷． 水利科学, *30*(1), 17–37，1986
8) https://www.hitachi-power-solutions.com/service/digital/diovista/flood/index.html
9) 国土交通省 : 第 5 回気候変動による水資源への影響検討会 今年度の検討状況について 資料，2014.
10) 土木学会，水理公式集 平成 11 年度版，1999
11) https://geolib.gsi.go.jp/node/2555
12) 建設省河川局，二訂「建設省河川砂防技術基準（案）設計編[I]． pp48-74，2002
13) 国土交通省 水管理・国土保全局 防災課 : 美しい山河を守る災害復旧基本方針, P.64，2018
14) 河田恵昭，玉井佐一，松田誠祐：水害常襲地帯における災害文化の育成と衰退，京大防災研究所年報，第 36 号 B-2. pp.615-643, 1993.

(Received May 31, 2022)
(Accepted September 1, 2022)

FLOOD CONTROL FUNCTIONS OF THE HISTORICAL RIVER AND CHANNEL NETWORK IN THE CASTLE TOWN AKIZUKI

Kensuke KODAMA and Hironori HAYASHI

The purpose of this study is to evaluate the function of the historical channels and rivers flood control system in Akizuki, which has been maintained by dry masonry technique and is based on Nature-based Solutions and Natural Flood Management. The flood control function will be evaluated in two scenarios: a simulation of the July 2017 heavy rainfall that reached a maximum hourly rainfall of approximately 100 mm/h, and a scenario with 1.4 times that amount of rainfall. As a result, it was found that the historical flood control system was effective in reducing the peak flow discharge at the downstream end of the basin. Furthermore, it was shown that the high roughness of rock-made rivers and channels ensured the safety of the in-channel structures by keeping the flow velocity below 5 m/s, which is the design flow of dry masonry revetment, even under the 1.4 times rainfall scenario. This study clarified not only the historical flood control characteristics of dry masonry but also the flood control function of the channel network. It was found that the channel network in Akizuki has the function of reducing the peak flow rate of the river from the town to downstream by detouring the rainwater by running parallel to the river.