

河川基金助成事業

普通河川流域における地先の安全度評価及び 耕作放棄水田を活用した地域住民主導の 流域治水手法の構築

助成番号：2021 - 5311 - 007

神戸市立工業高等専門学校 都市工学科
講師 今井 洋太

2021年度

1. はじめに

近年、我が国では気候変動の影響により集中豪雨が増加している。気象庁の観測統計によると、1日の降水量が200 mm以上という大雨を観測した日数は、増減を繰り返しながらも明瞭な増加傾向にある¹⁾。これにより、全国各地で毎年のように水害が発生している。

こういった経緯をふまえて、国土交通省では「流域治水」の推進を行っている。流域治水とは、気候変動の影響による水災害の激甚化・頻発化等を踏まえ、堤防の整備、ダムの建設・再生などの対策をより一層加速するとともに、集水域（雨水が河川に流入する地域）から氾濫域（河川等の氾濫により浸水が想定される地域）にわたる流域に関わるあらゆる関係者が協働して水災害対策を行うものである。

国土交通省が進める流域治水は、主に1級河川を有する流域において進められている。2021年3月30日には、全国109全ての1級水系にて、流域治水プロジェクトが一斉に公表された。一方、2級水系では、策定が公表されたのは武庫川水系をはじめとする12水系にとどまっており、1級水系以外での流域では、必ずしも流域治水が推進されているとは言えない。

流域治水の推進は河川整備に係る維持管理費用の観点からも重要である。特に、2級河川以下の中小規模河川は県や市町村などの地方公共団体が管理しており、河川整備やダム建設に使用できる予算は国が管理する1級河川と比べて不足している。その結果、中小規模河川では河川整備の遅れが原因となり、水害が発生しやすい。このようなことから、2級河川などの中小規模河川では、1級河川よりも流域治水を積極的に推進していく必要がある。

耕作放棄水田は水田と同様に洪水緩和機能を有していることが知られている。しかしながら、流域内において洪水緩和機能を発揮する耕作放棄水田の空間分布特性については明らかになっていない。また、耕作放棄された水田が湿潤状態にある場合は、湛水能力が低くなることも知られている。このように、耕作放棄水田は雨水の流出抑制や洪水氾濫の低減に寄与するものの、その機能については、耕作放棄水田の管理状態によって異なることが考えられる。

本研究の対象地である田結川流域の耕作放棄水田では、2008年にコウノトリが飛来した。このコウノトリが、田結川流域の耕作放棄水田に飛来したことをきっかけに、湿地再生が行われてきた。そして、その過程で止水域を創出するための畦や板（以下、止水板）などが設置されてきた。また、この止水板は洪水緩和機能の向上に寄与していることが知られている。しかしながら、耕作放棄水田が有する洪水緩和機能を向上させる止水板の配置については十分な検討がなされていない。そのため、耕作放棄水田における止水板等を用いた洪水緩和機能向上の可能性を探ることにより、河川整備予算が不足している河川における流域治水の一つの方法として、提示することができると考えている。このような背景をもとに、本研究では、普通河川流域における耕作放棄水田を活用した流域治水手法の構築を目的として、1) 小規模流域における流域内の耕作放棄水田の分布と洪水緩和機能との関係性、2) 耕作放棄水田が有する洪水緩和機能の向上可能性について二次元氾濫解析をとおり評価をする。そして、普通河川を有する流域において、耕作放棄水田を活用した流域治水の手法を検討する。

2. 研究対象地

研究対象地は兵庫県豊岡市田結川の流域である（図-1 a, b, c）．流域面積は2.6 km²，山地部，平野部の面積はそれぞれ2.4 km²，0.2 km²となっている．最高標高261 mから流れる本川流路延長は2.5 km で，河床勾配は1/100～1/200 程度である．河口から約500 mの地点で支川と合流し，下流端に存在する集落内を流れて日本海に注ぐ．2015 年の人口は147 人であった．流域内の平野部はかつて水田がであったが，現在はすべて耕作放棄されている．

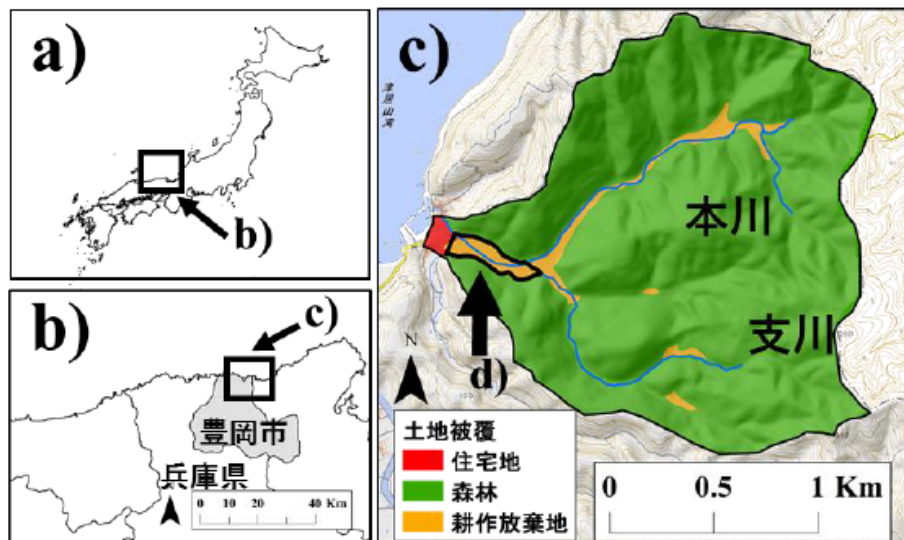


図-1 田結川流域（今井ほか 2020 より引用）

本研究で解析対象とした領域の概要を図-2に示す．田結川下流部の河道は三面張水路として整備されている．堤内地には，耕作放棄水田が広がっている．対象区間の中央部には，横断方向に伸びる堰が存在し，出水時の洪水を緩和するよう維持管理されている．田結川下流域の平均堤防高は約90 cmであるが，上流側の堰と合流点との間における堤防高は約60 cm となっており，田結川下流域において最も低い．2018年7月豪雨の際には，この地点から越流して耕作放棄水田に流入することが確認されており，越流堤として機能している．平水時には，本川・支川の合流点付近の川底に接して設置された直径約50 cm，約20 cm の土管から耕作放棄水田へ流入し，下流部の土管から河道へと排出される．また，横断方向に設置されている堰を潜り込む形で排水管が設置されており，地域住民がその高さや構造を調整することで，耕作放棄水田内の水量管理を日常的に行っている．

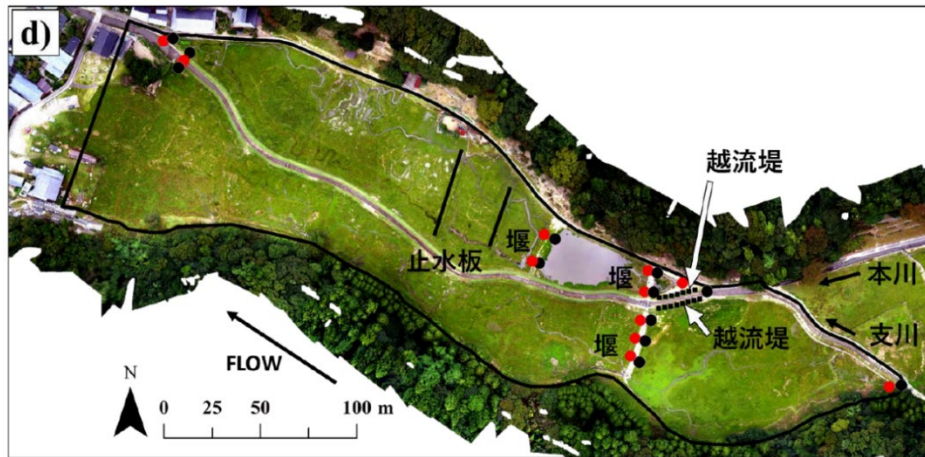


図-2 田結川下流域の概要（今井ほか 2020 より引用）

3. 遊水地としての耕作放棄水田を有する普通河川における地先の安全度評価

3.2 方法

3.2.1 氾濫解析

田結川流域の洪水氾濫プロセスの把握と仮想豪雨による地先の安全度の把握を目的に、流域・洪水氾濫解析を行った。同解析では、流域規模を対象に、任意の降雨外力を与え、流域からの流出、河道の洪水流と氾濫原の氾濫流の挙動を解析する。同解析には、流域流出・氾濫解析モデルであるRRIモデル（Rainfall-Runoff-Inundation Model）を用いた。RRIモデルは、流域での降雨が河川に集まる現象や洪水が河川を流下する現象、河川を流れる水が氾濫原に溢れる現象を流域一体で予測するモデルとなっている

(https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html)

3.2.2 雨量データの作成

本研究で用いた降雨外力には、気象庁HPから得られる過去の降雨データを使用した。降雨データは、田結川流域から最も近い豊岡雨量観測所のデータを用い、2018年7月豪雨における3日間の降雨イベントを用いた。なお、2018年7月豪雨時に発生した降雨によって、田結川で実際に氾濫したことが地域住民に確認されているため、氾濫解析の降雨外力として使用した。さらに、異なる降雨規模における氾濫形態を把握するために、7月豪雨における降雨波形を50年、100年、200年、1000年確率降雨時の3日間雨量となるよう引き伸ばし、ハイエトグラフを作成した。各確率降雨における3日間総降雨量は、土木研究所によって開発されたアメダス確率降雨計算プログラム

(<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/offer/amedas/top.htm>)及び豊岡雨量観測所の雨量データを用いた。本研究で使用したハイエトグラフについて図-3に示す。

3.2.3 地形データの作成

田結川流域における氾濫解析に使用する地形データについては、兵庫県全域1mDEM（2010年度～2018年度：<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/2010-2018-hyogo-geo-dem>）

を用いた。本データは1mDEMデータであり、高解像度ではあるものの、氾濫解析に用いるには標高差が大きくなること、計算時間が膨大になることから、1mDEMをGIS上で10mDEMにリサンプリング処理した。リサンプリングの際には各セルの標高平均値を算出し10mDEMを構

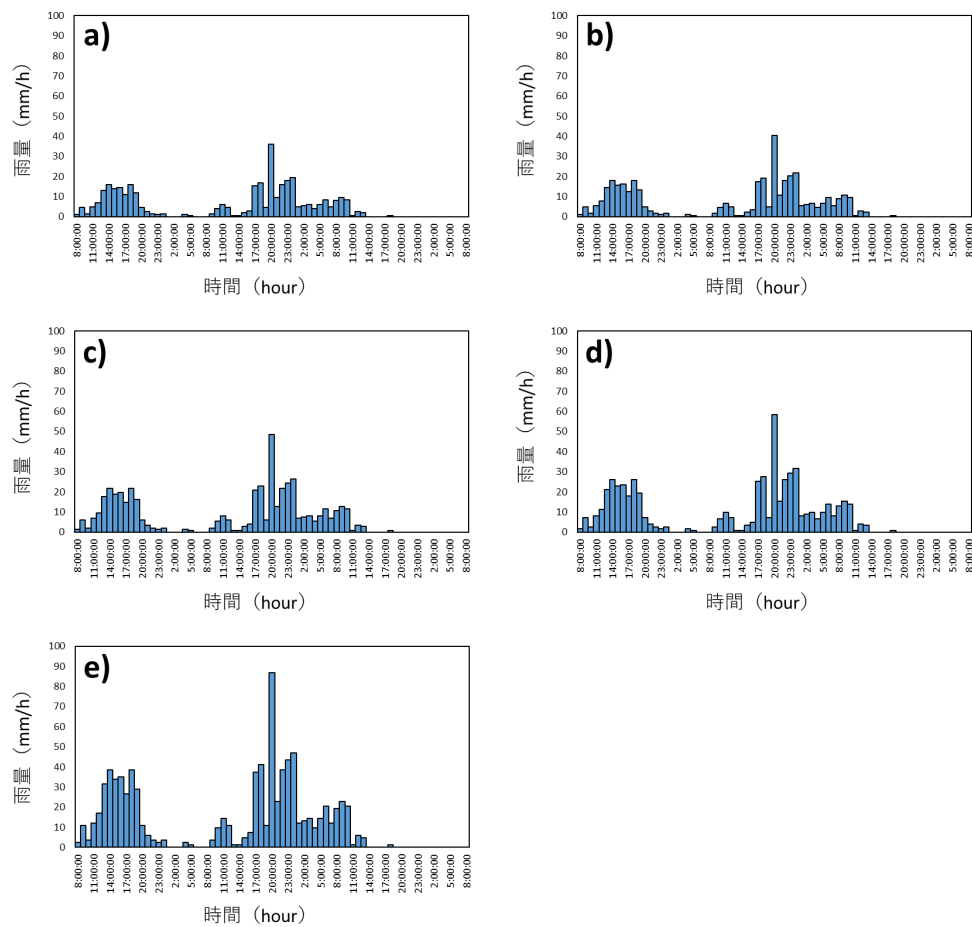


図-3 a) 2018 年 7 月豪雨発生時 (30 年確率降雨相当) の降雨イベントにおけるハイトグラフ, b) 50 年確率降雨イベントにおけるハイトグラフ c) 100 年確率降雨イベントにおけるハイトグラフ, d) 200 年確率降雨イベントにおけるハイトグラフ, e) 1000 年確率降雨イベントにおけるハイトグラフ。

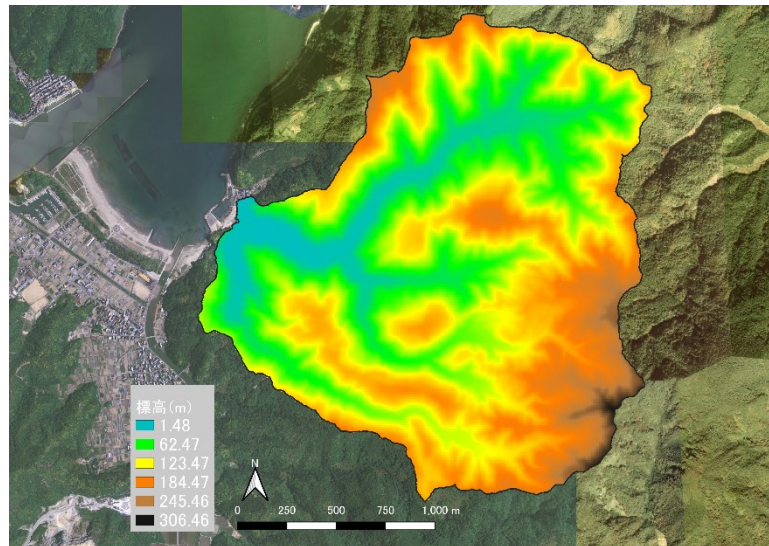


図-4 氾濫解析に用いた 10m 標高図

築した（図-4）．構築された10mDEMを用いてRRIモデルで必要となるDIR(Flow Direction)データ，ACC(Flow Accumulation)データをQGIS3.16のr.watershed機能を用いて作成した（図-5, 6）．

3.2.4 氾濫解析におけるパラメータ設定

RRIモデルを用いた氾濫解析におけるパラメータについては以下のように設定した．RRIモデルにおける河道断面推定のパラメータ値は流域内の河道幅を現地調査及び空中写真による判読を実施して， $C_w = 1.5$ ， $S_w = 0.4$ ， $C_D = 1.2$ ， $S_D = 0.3$ と推定した．山地と平野の区別については，空中写真を参考に区分した（図-7）．また河道の堤防高は現地調査で得られた値（概ね0.5m）とし，堤防高を反映させる河道の位置については，現地調査及び空中写真による判読Aを実施し決定した．その結果，河道のACCの値が3125以上となる区間において堤防高を考慮した（図-8）．なお，河道の反映についても同様の手法で検討し，ACCの値が750以上となったセルが河道として反映された．本研究で用いた出水イベントは，3日間と短期間であるため，蒸発散量の影響は無視して計算した．その他のパラメータについては，表-1に示す．

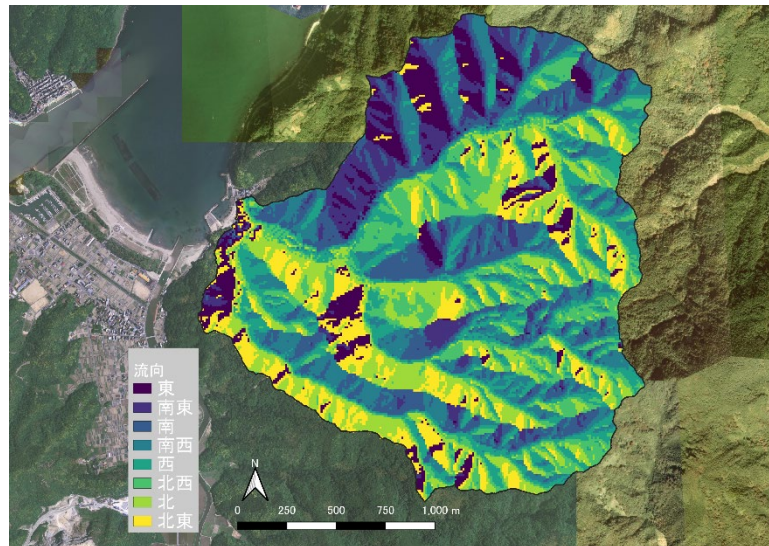


図-5 氾濫解析に用いた DIR（流下方向）データ



図-6 氾濫解析に用いた ACC（累積流量値）データ

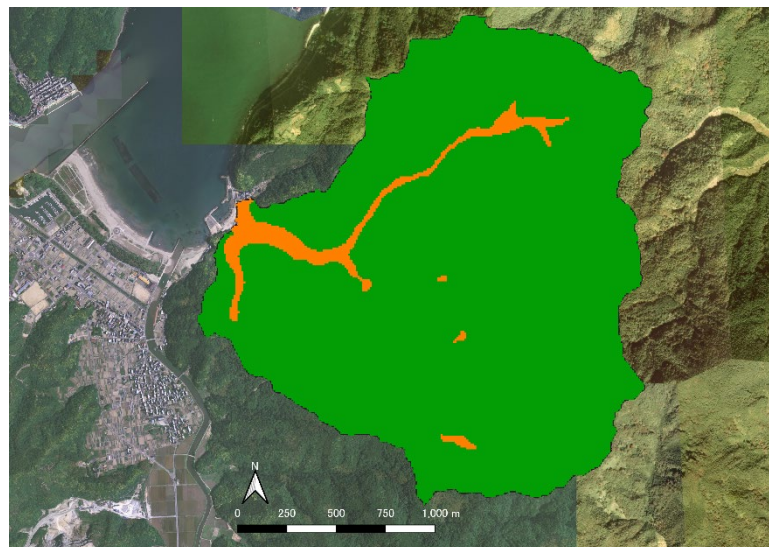


図-7 氾濫解析対象範囲における地形区分。橙色は平野部，緑色は山地部を示す。



図-8 氾濫解析における堤防高設定範囲

表-1 計算条件一覧表

計算期間	2018年7月5日8:00 ～ 2018年7月8日8:00	
計算時間間隔	河道：1s、斜面60secを最大とし、 数値誤差に応じて時間間隔を自動調整	
計算格子間隔	10m×10m	
入力降水量	豊岡雨量観測所より作成	
蒸発散量	考慮なし	
ダム	考慮なし	
下流端境界条件	動水勾配＝河床勾配として設定	
河道断面	断面情報をもとに設定	
パラメータ	山地	平野
n [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]	0.3	0.3
n_{river} [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]	0.03	0.03
d [m]	0.5	-
k [m/s]	0.1	-
k_v [cm/h]	-	5.56×10^{-7}
ϕ	-	0.464
S_f	-	0.273
F_{limit} [m]	-	0.4

※ n (n_{river})：斜面（河道）の粗度係数

※ k_v , ϕ , S_f は Green Ampt モデルのパラメータであり，上記の値は Clay loam に相当．

F_{limit} ：積算鉛直浸透量の最大値．

3.3 結果及び考察

図-9に2018年7月豪雨時（30年確率降雨相当イベント）における田結川流域の最大浸水深を示す。田結川流域における降雨出水時の氾濫状況として、上流部の谷部での氾濫が多く見られた。図-10, 11, 12, 13に50年確率降雨，100年確率降雨，200年確率降雨，1000年確率降雨イベントにおける田結川流域の最大浸水深を示す。田結川流域における降雨出水時の氾濫状況として、降雨規模が大きくなるにつれて、集落周辺の放棄水田や中流部の放棄水田における浸水深が大きくなっていた。これらのことは、30年確率降雨イベントの氾濫では、上流域の谷部での洪水貯留によって、地先の安全度が担保されていること、50年確率降雨以上イベントの氾濫では、集落周辺の放棄水田での洪水貯留によって、地先の安全度が担保されていることを示唆している。

図-14に各降雨イベント発生時における田結川流域下流端周辺の最大浸水深を示す。2018年7月豪雨（30年確率降雨相当）イベント発生時においては、集落内の宅地に浸水は確認されなかった（図-14a）。また、地域住民による聞き取り調査から、2018年7月豪雨発生時には集落の家屋では浸水被害がなかったこと、集落上流の放棄水田において洪水が貯留されていたことを確認しており、本研究で得られた氾濫解析の結果については、実測データとの検証はなされていないものの、実際の氾濫形態を概ね再現できていると考えられる。50年確率降雨以上の降雨イベントにおいて、集落内に浸水が確認され、1000年確率降雨規模においては、集落内の家屋の多くが床上浸水（0.5m以上）となっていた（図-14b, c, d, e）。これらのことは、田結川流域においては、50年確率降雨以上の降雨イベントが発生した場合に当該流域の集落に浸水被害が発生すること、また、集落周辺の放棄水田の管理が重要であることを示している。

3.4 まとめ

本研究では、兵庫県田結川流域を対象として、RRIモデルを用いた氾濫解析を実施した。その結果、集落上流に位置する平野部の放棄水田が流域内において洪水貯留機能を発揮していることを明らかにした。一方、放棄水田は流域の上流部にもまとまって存在していた。現状では、50年確率降雨よりも大きな降雨イベントが発生すると、集落内の家屋に浸水被害がみられるため、今後、流域上流部の耕作放棄水田についても、遊水池として管理を進めていくことで、流域内の放棄水田が有する洪水貯留機能を高めてゆくことができるだろう。

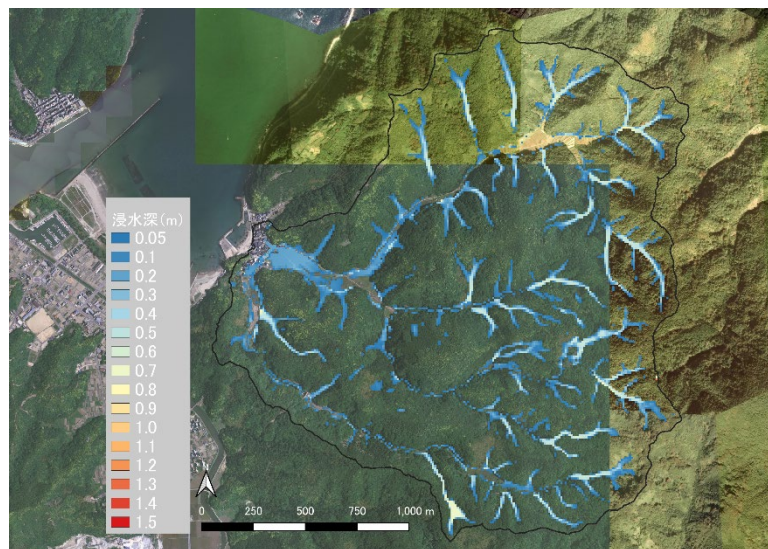


図-9 2018年7月豪雨（30年確率降雨相当）における田結川流域の最大浸水深（m）

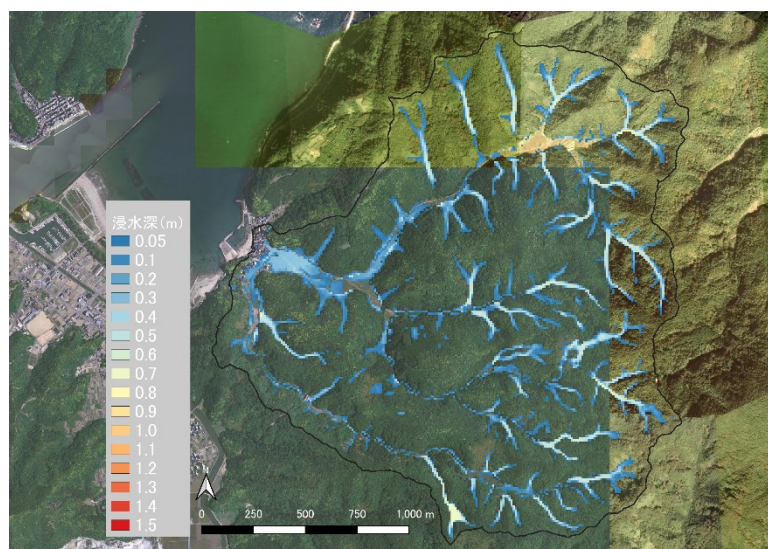


図-10 50年確率降雨イベントにおける田結川流域の最大浸水深（m）

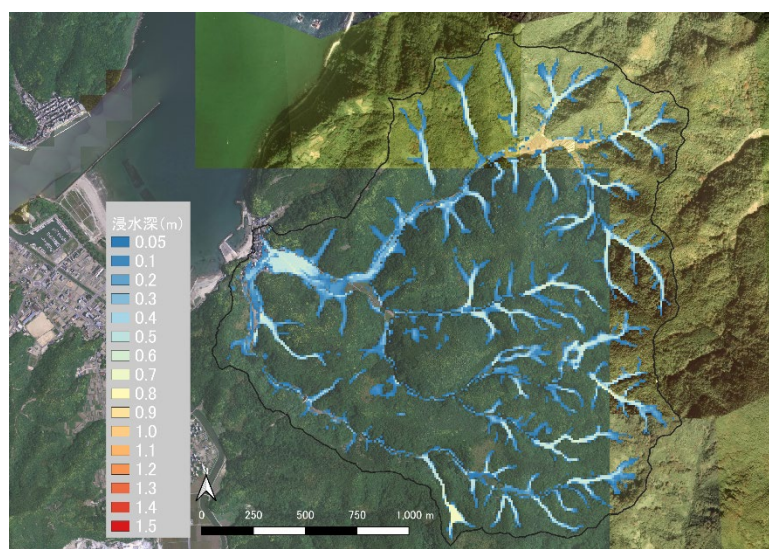


図-1 100 年確率降雨イベントにおける田結川流域の最大浸水深 (m)

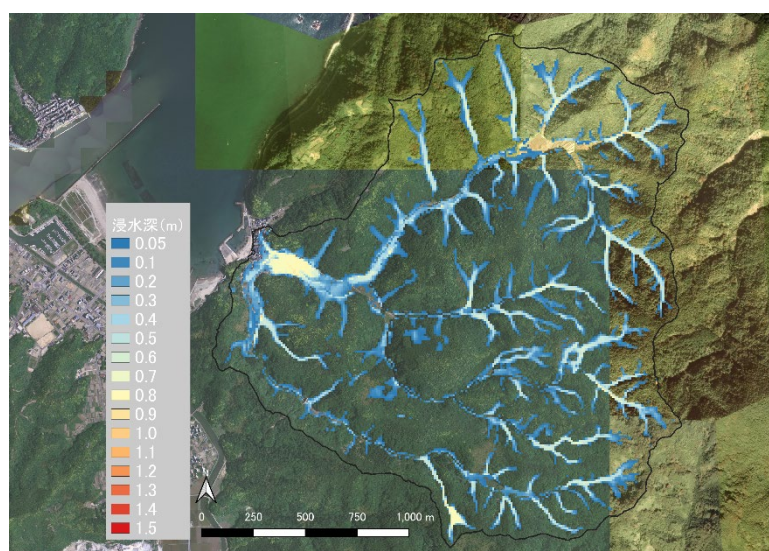


図-12 200 年確率降雨イベントにおける田結川流域の最大浸水深 (m)

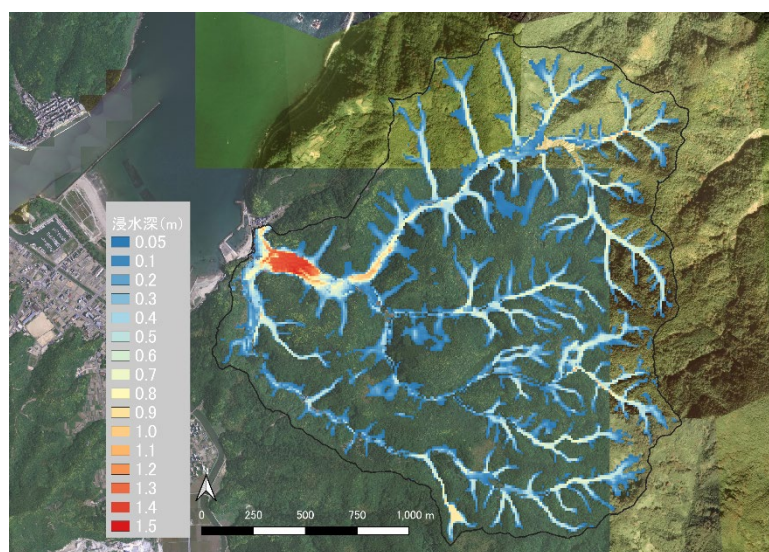


図-13 1000 年確率降雨イベントにおける田結川流域の最大浸水深 (m)

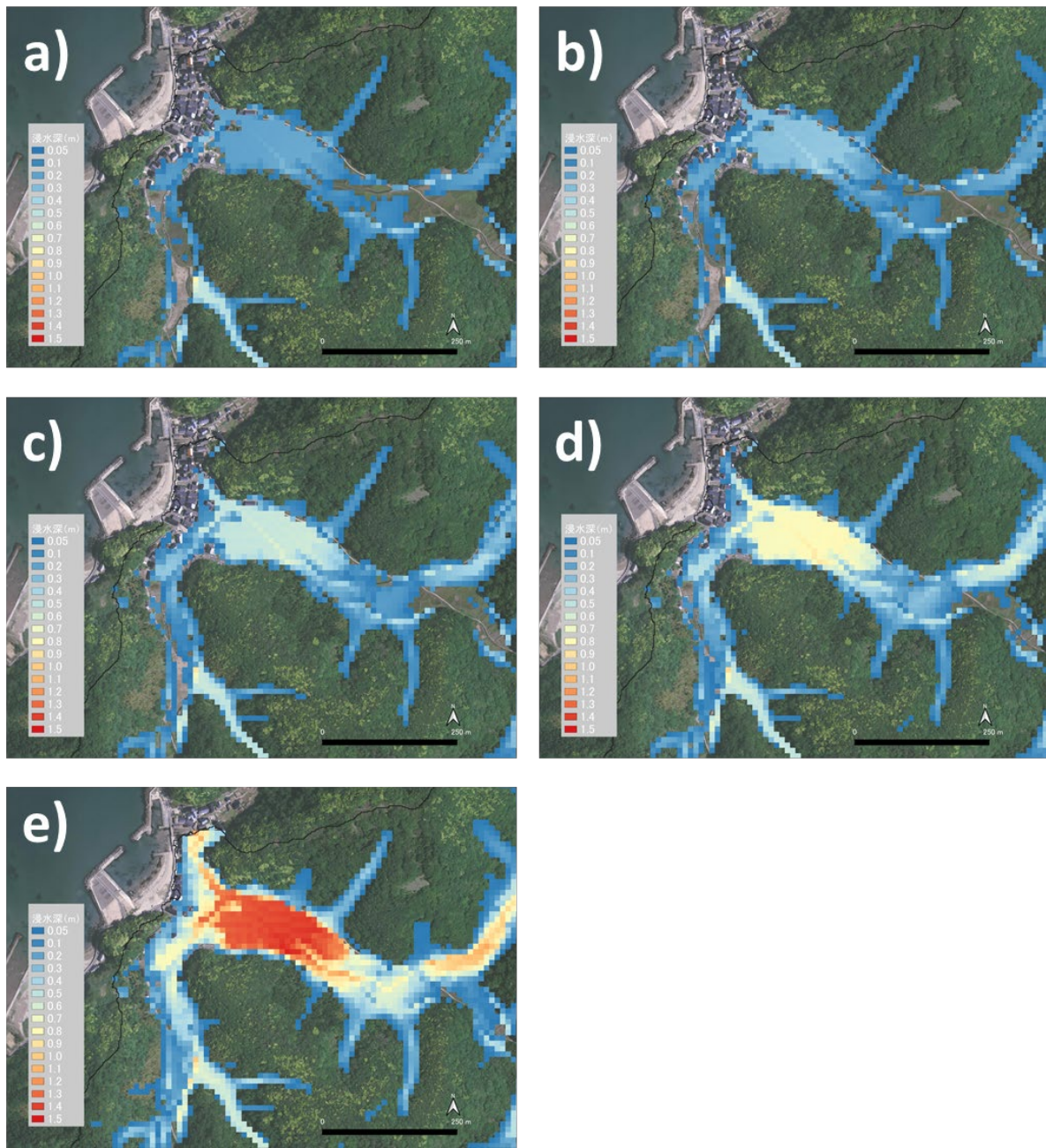


図-14 田結川下流域における最大浸水深 (m) . a) 2018 年 7 月豪雨発生時 (30 年確率降雨相当) の降雨イベント時, b) 50 年確率降雨イベント時, c) 100 年確率降雨イベント時, d) 200 年確率降雨イベント時, e) 1000 年確率降雨イベント時における最大浸水深 (m)

4. 耕作放棄水田が有する洪水緩和機能の向上可能性評価

4.2 方法

4.2.1 氾濫解析

本研究では田結川下流域を対象に我が国では都市部を中心に詳細な標高データが整備されているが、中山間地域や山地部等では解像度の高い地形データは未整備である。このことから、本研究では、同地域を対象とした分析（今井ほか 2020）で作成された高解像度標高データを使用した。本研究で使用した標高データを図-15に示す。

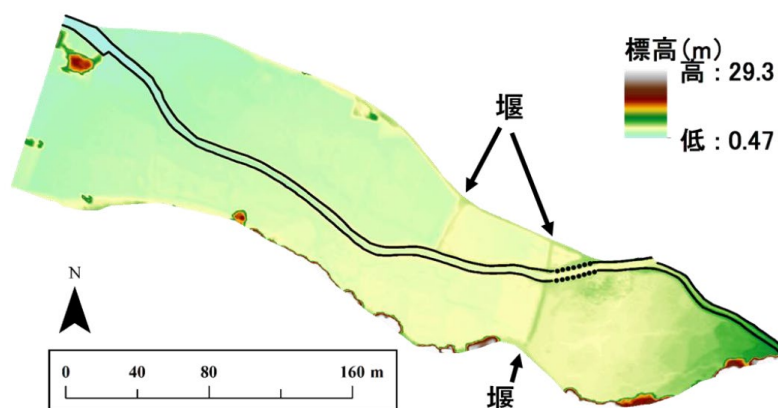


図-15 計算領域の標高データ（今井ほか 2020 より引用）

4.2.2 iRICを用いた二次元氾濫解析

氾濫解析の際の計算条件を表-1 に示す。氾濫解析には iRIC ver3.0 の Nays2D Flood (ver.5.0) を用いた。計算格子は、iRIC に 0.1 m 解像度の DEM を読み込んだうえで、河道形状や耕作放棄水田内の堰、止水板を計算格子の地形に適切に再現できるように、約 0.2 m に設定し、計算領域を縦断・横断方向にそれぞれ 883, 561 分割した。タイムステップは 0.02, マニングの粗度係数は河道では 0.03, 耕作放棄水田では 0.06, 下流端水位は自由流出、移流項の差分方法は風上差分とした。また、Nays2DFlood のボックスカルバート機能を用いて、河道及び耕作放棄水田に設置されている排水管を通した流れを考慮した。計算条件として与えた排水管の直径と設置高さについては、現地調査で計測した値を用いた。

表-1 二次元氾濫解析に関するパラメータ

計算条件	設定値
計算格子のサイズ	約 0.2 m×0.2 m
計算格子の数	883×561=495363 個
タイムステップ	0.02 s
粗度係数（河道）	0.03
粗度係数（耕作放棄水田）	0.06
下流端水位	自由流出
移流項の差分方法	風上差分

4.2.3 iRICを用いた二次元氾濫解析

田結川は普通河川であり、雨量や流量等の水理諸量が未観測である。そこで、本研究では同地域を対象とした分析（今井ほか 2020）で得られた 2018 年 7 月豪雨のピーク流量を仮想したハイドログラフを用いた（図-16）。なお、本イベント発生時において、地域住民によって実際に田結川が氾濫したことが確認されているため、本研究の出水イベントとして用いた。

計算に用いた流量ハイドログラフ (30年確率降雨に相当)

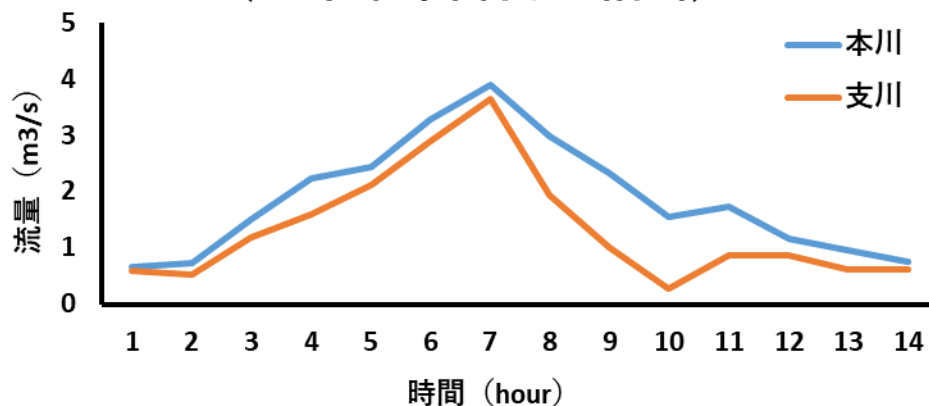


図-16 計算領域の本川、支川の上流端に与えた流量ハイドログラフ（今井ほか 2020より引用）

4.2.4 止水板の増設位置の検討

研究対象地である田結川流域の耕作放棄水田は、コウノトリの飛来をきっかけに湿地再生が行われているが、その際に、耕作放棄水田内を湿潤状態に保つため、耕作放棄水田内の滞筋に対して止水板が設置されている（図-15）。この止水板は洪水緩和機能の向上に寄与していることが知られているが、止水板の劣化が散見され、その機能の低下が懸念されている。

止水板の増設による出水時の洪水の空間分布の変化を明らかにするために、止水板の増設シナリオを複数検討した。止水板の増設は、止水板の高さである 0.3 m を、堤防の高さは 0.5 m~0.8 m を、堤防を低くした部分は-0.5 m を計算格子の標高値に加えることで、表現した。シナリオ 1 は現在の耕作放棄の管理状態を反映させた（図-17）。シナリオ 2 は耕作放棄地内にできる流れを最小限にするために右岸側と左岸側で互い違いになるように止水板を設置した（図-18）。シナリオ 3 は河川と反対方向の山側に水が流れるように八の形で止水板を設置した（図-19）。シナリオ 4 は流速を抑え、尚且つ 1 方向にしか流れないようにするためにかぎ型で止水板を設置した（図-20）。シナリオ 5 はシナリオ 4 をもとにして、下流部側は溜まった水が河川に戻らないように止水板を設置した（図-21）。

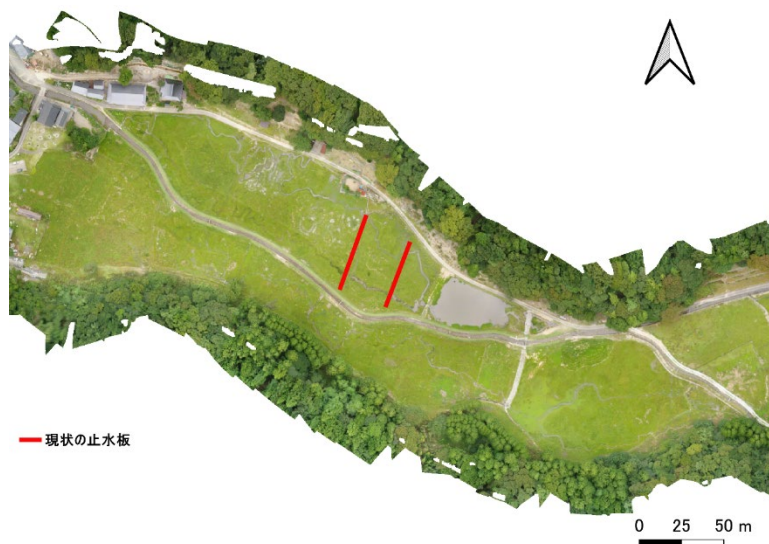


図-17 シナリオ1における止水板の空間分布

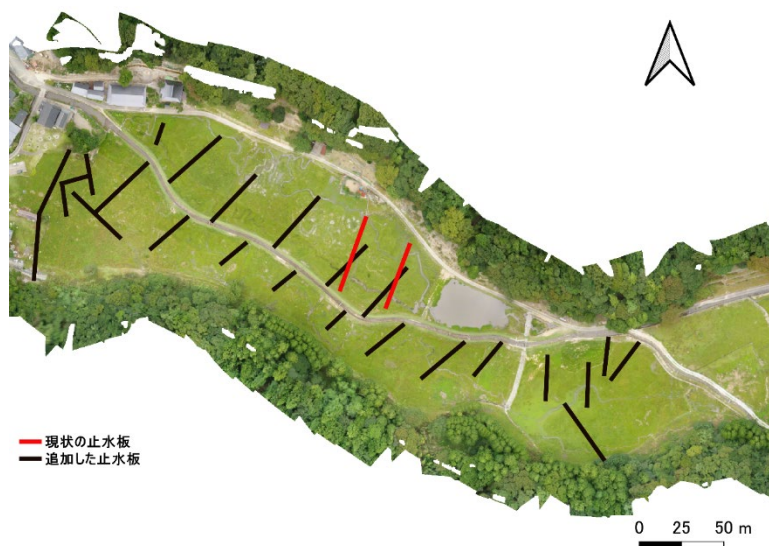


図-18 シナリオ2における止水板の空間分布

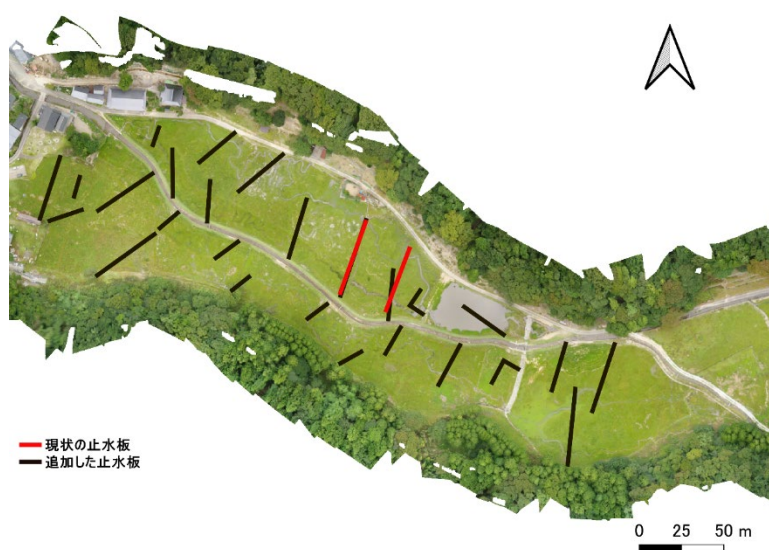


図-19 シナリオ3における止水板の空間分布

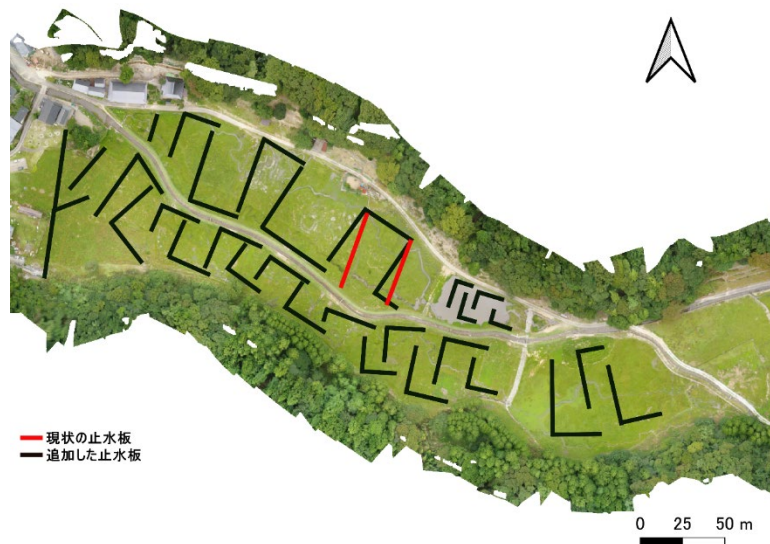


図-20 シナリオ4における止水板の空間分布

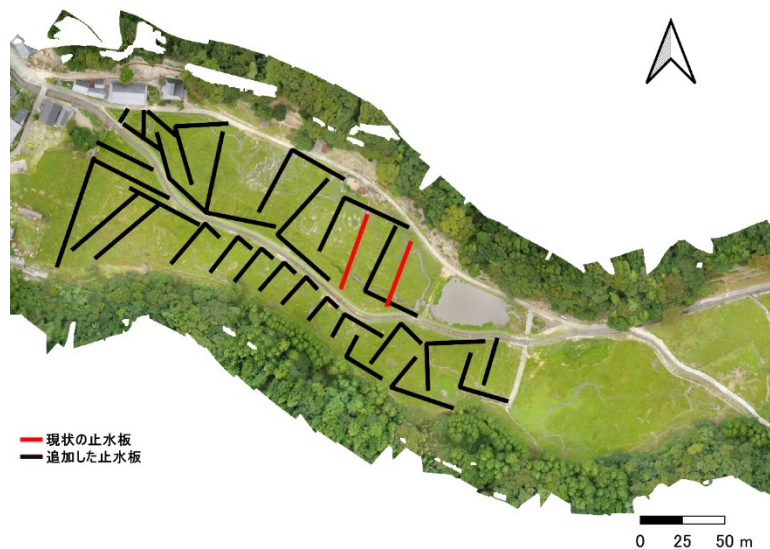


図-21 シナリオ5における止水板の空間分布

4.3 結果及び考察

シナリオ 1 におけるピーク流量直後の計算領域全体の水深分布を図-22a, 下流部の水深分布を図-22b に示す。水深は 0.10 m~0.30 m の場所が多かった。河道内下流端の最も高い水深は 1.03 m であった。シナリオ 2 におけるピーク流量直後の計算領域全体の水深分布を図-23a, 下流部の水深分布を図-23b に示す。水深は 0.10 m~0.40 m の場所が多かった。河道内下流端の最も高い水深は 1.03 m であった。止水板を設置した場所の上流部は 0.60 m であった。シナリオ 3 におけるピーク流量直後の計算領域全体の水深分布を図-24a, 下流部の水深分布を図-24b に示す。水深は 0.10 m~0.40 m の場所が多かった。河道内下流端の最も高い水深は 1.02 m であった。止水板を設置した場所の上流部は 0.50 m であった。シナリオ 4 におけるピーク流量直後の計算領域全体の水深分布を図-25a, 下流部の水深分布を図-25b に示す。水深は 0.1 m~0.4 m の場所が多かった。河道内下流端の最も高い水深は 1.01 m であった。止水板を設置した場所の上流部は 0.62 m であった。シナリ

オ 5 におけるピーク流量直後の計算領域全体の水深分布を図-26a, 下流部の水深分布を図-26b に示す. 水深は 0.1 m~0.4 m の場所が多かった. 河道内下流端の最も高い水深は 0.98 m であった. 止水板を設置した場所の上流部は 0.87 m であった.

30 年確率降雨時のシナリオ 1 からシナリオ 5 の河道内下流端の水深を比較した結果, シナリオ 2 を除く全てのシナリオにおいて, 河道内下流端の水深差が, 0.01 m~0.09 m となり小さくなった (図-27). このことから, 止水板の設置方法によっては, ピーク流量時における下流部の水深の上昇を抑制していると考えられる. シナリオ 1 からシナリオ 5 の河道内下流端の水深を比較した結果, シナリオ 1 とシナリオ 2 が 1.03 m, シナリオ 3 が 1.02 m, シナリオ 4 が 1.01 m, シナリオ 5 の水深が 0.98 m となっており, シナリオ 5 の水深が最も小さかった. そのため, シナリオ 5 における止水板の設置方法が田結川下流部の耕作放棄水田が有する洪水緩和機能を効果的に向上させる方法であるといえる.

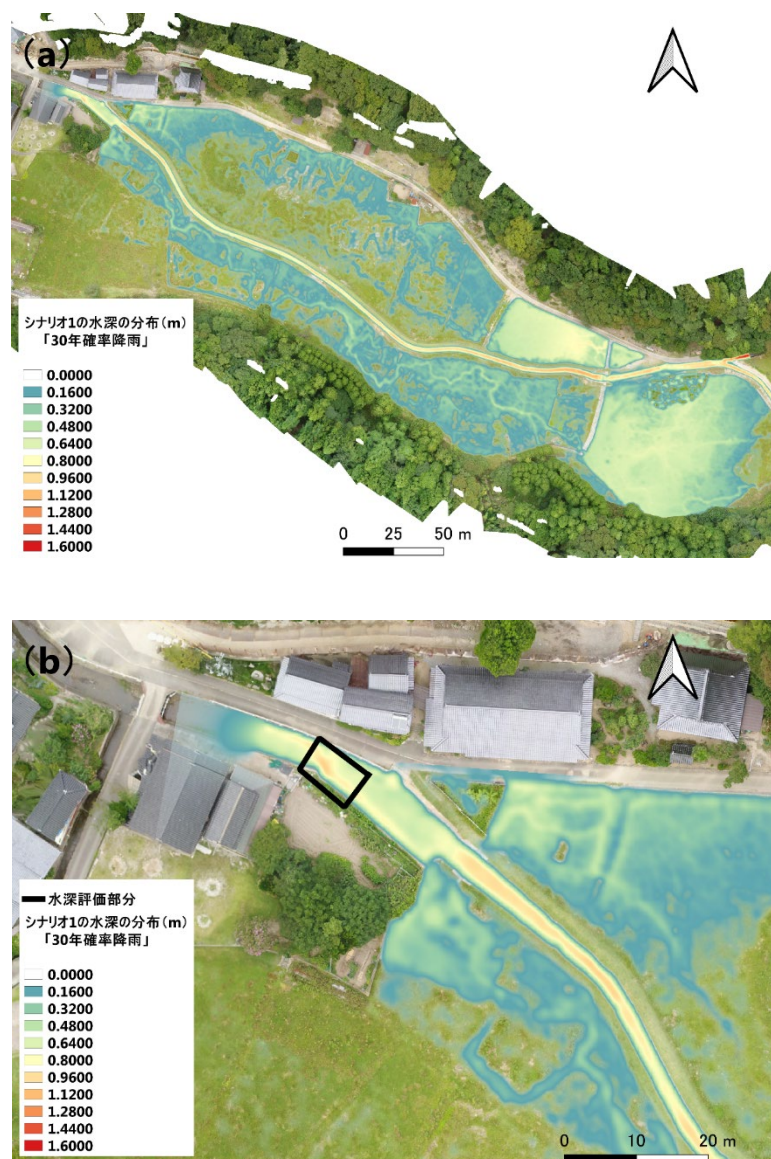


図 22 シナリオ 1 におけるピーク流量直後の水深の分布. a) は計算対象領域全体, b) は下流端周辺の水深分布をそれぞれ示す.

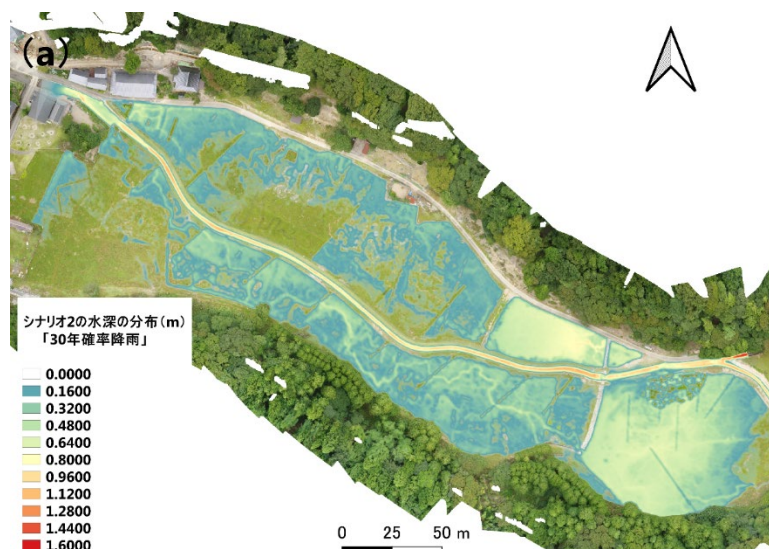


図 23 シナリオ 2 におけるピーク流量直後の水深の分布. a) は計算対象領域全体, b) は下流端周辺の水深分布をそれぞれ示す.

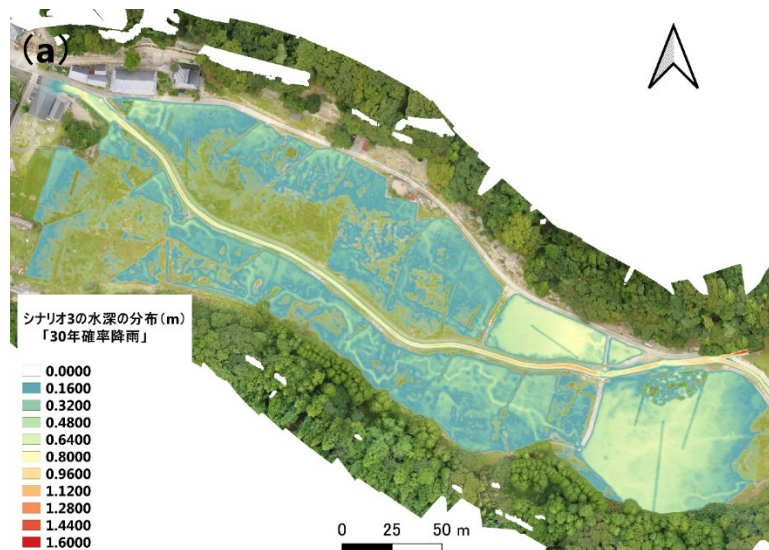


図 24 シナリオ 3 におけるピーク流量直後の水深の分布. a) は計算対象領域全体, b) は下流端周辺の水深分布をそれぞれ示す.

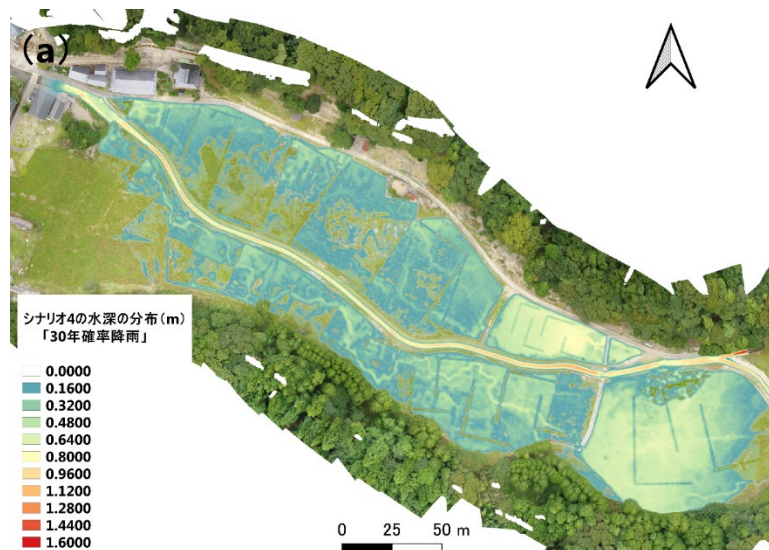


図 25 シナリオ 4 におけるピーク流量直後の水深の分布. a) は計算対象領域全体, b) は下流端周辺の水深分布をそれぞれ示す.

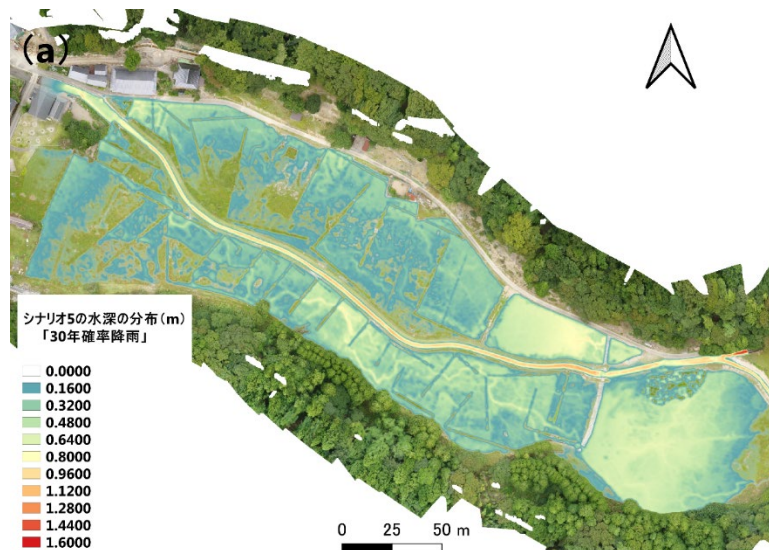


図26 シナリオ5におけるピーク流量直後の水深の分布. a)は計算対象領域全体, b)は下流端周辺の水深分布をそれぞれ示す.

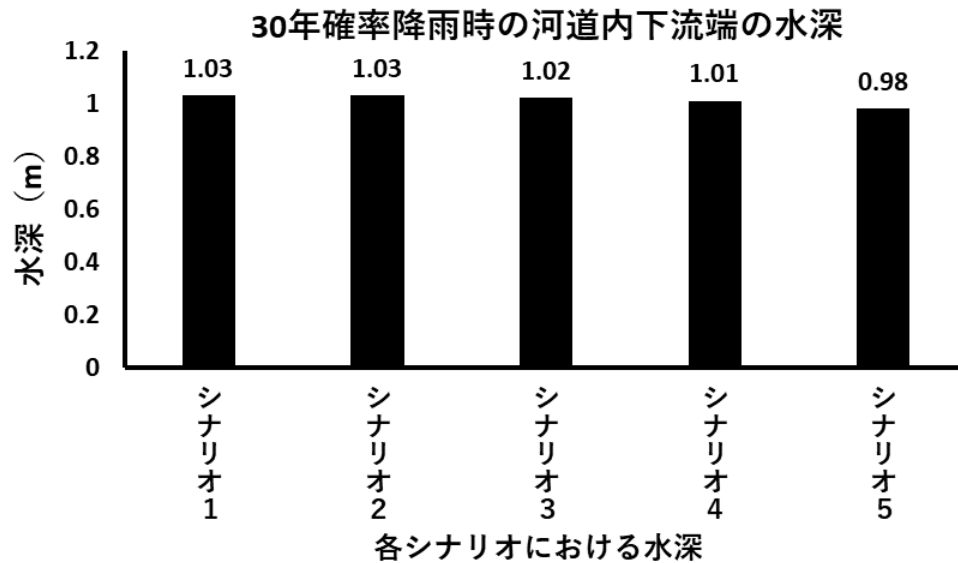


図27 各シナリオ5におけるピーク流量直後の下流端水深の分布。

4.4 まとめ

本研究では耕作放棄水田の洪水緩和機能が最も高くなる止水板の設置方法を検討した。すなわち、堤防の増設、堤防の切り下げ、複数の止水板の設置方法を検討し、二次元氾濫解析をとおして検証した。その結果、シナリオ5で用いた止水板の設置方法が最も洪水緩和機能向上に寄与していることが示唆された。また、耕作放棄地下流部に設置された堤防の増設に関しても洪水緩和機能向上に寄与することが明らかになった。以上のことから、耕作放棄地内に止水板を設置するという方法は、簡便な手法ではあるが、耕作放棄水田を活用した洪水緩和機能を向上させる可能性が示唆された。また、耕作放棄地内において、堰下流部と止水板を越流するように水が流れた場所は、流速が大きくなったため、堰や止水板等が劣化しやすくなる可能性も示唆された。

田結川流域では耕作放棄水田を活用した湿地再生が行われており、その一環として、止水板の設置が行われてきた。耕作放棄水田内に止水板を増設した結果、止水板周辺において水深が大きくなった。今後、止水板の設置の際には、本研究の結果を反映させることで、洪水緩和機能の向上のみならず、湿地性動植物の生息・生育としての質をも高めることができると考えられる。

助成事業者紹介

今井洋太

現職：神戸市立工業高等専門学校都市工学科・講師（博士（工学））

主な著書

Imai, Y., Muto, Y., & Kamada, M. (2022). Change in Floodwater Retention Function of a Paddy Field Due to Cultivation Abandonment in a Depopulating Rural Region in Japan." Green Infrastructure and Climate Change Adaptation: Function, Implementation and Governance: 161.