

河川合流部における遊水効果保全について ～雄物川・皆瀬川合流部を題材として～

A CASE STUDY OF CONSERVATION AND ENHANCEMENT OF FLOOD FLOW
RETARDING AT THE CONFLUENCE OF OMONO RIVER AND MINASE RIVER

石川忠晴¹・河内敦²・松延和彦²

Tadaharu ISHIKAWA, Atsushi KAWACHI and Kazuhiko MATSUNOBU

¹正会員 工博 東京工業大学 名誉教授 (〒251-0035 神奈川県藤沢市片瀬海岸2-4-15)

²正会員 工博 (株)東京建設コンサルタント 環境防災研究所 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

気候変動による超過洪水増加の懸念から、水系の遊水機能を保全・増強する必要性が高まっている。一方、上流域に多くみられる閉鎖性氾濫原は主に水田として利用され、集落は旧河岸段丘や自然堤防上にあることから、そのような土地を超過洪水時の一時的遊水地として使用することが考えられる。本研究ではそのような考えに基づく超過洪水対策を将来の治水計画に取り入れる可能性を現状の治水制度および検討事例との関連において考察した。続いて、秋田県を流れる雄物川上流域の皆瀬川合流点を対象に、2045年を目途に行われる戦後最大洪水対応の堤防整備を前提として、数値シミュレーションによるCase studyを行った。その結果、皆瀬川合流部だけでも超過洪水のピーク流量を3～5%低減できること、および氾濫原内の家屋の多くの安全性は移転や宅盤嵩上をせずとも保たれる可能性のあることが示された。

Key Words: flood over channel capacity, planned inundation, river confluence, numerical study

1. はじめに

河川改修事業の最終目標は水系ごとの河川整備基本方針に定められる基本高水流量を安全に流下させることとされる。しかし、その達成にはかなりの時間を要すると考えられることから、気候変動による降雨規模増加の可能性が高まるにつれ、整備途中段階での目標を定義する必要が出てきている。そこで2020年公表の流域治水プロジェクト（以下では流域治水1.0）では「戦後最大規模の洪水」を当面の目標とした。また内閣府が所管する国土強靱化の取り組みでも2045年を目途とする一級河川についての中長期目標を戦後最大洪水としている¹⁾。

しかし基本高水流量は平均して戦後最大流量の1.3倍もある²⁾。加えて、気候変動に伴う治水安全度の相対的低下に備えた河川整備基本方針変更により、基本高水流量はさらに約1.2倍になると考えられている。したがって当面目標が達成された後でも河道流下能力を超える洪水（以下では超過洪水）による氾濫が発生する恐れが高い。そこで中上流域での遊水・貯留機能を増大させる必要があり、水田での雨水貯留機能等を利用した流出抑制が注目されている。しかし降雨のオンサイト貯留では大

規模出水の前期に貯留容量を使い切る恐れがあり、超過洪水のピーク低減には限界があると考えられる³⁾。

そこで近年、特定都市河川指定の条件拡大により、洪水の一部を河川に隣接する閑地に誘導し貯留機能を保全する制度も創設されている⁴⁾。この施策は民地への洪水の計画的溢水を前提としており、河川区域のみで洪水を処理する従来の治水方針の転換ともみなせる。しかし、同施策で国交省が提示しているイメージ図によれば対象区域はスポット的であり、今後の気候変動による超過洪水増加の蓋然性を考えると、水系全体としての遊水・貯留容量確保のための制度構築が必要であろう。

そこで、超過洪水の処理を含めた河川整備計画として、計画高水位以上の水量を堤内民地に安全に溢水させる治水方式への転換の必要性が指摘され⁵⁾⁶⁾、数値シミュレーションによるCase studyも行われている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。しかし溢水手法の有効性および安全性は地形条件や土地利用状況に依存することから、将来の制度化のためには種々の状況に対して事例研究を積み上げる必要があると考えられる。そこで本報告では、超過洪水対策としての堤内民地への計画的溢水の考え方を整理したうえで、秋田県を流れる雄物川上流域の支川合流部を対象として、一つのCase studyを提示する。

2. 計画的洪水を含む河川整備のあり方について

(1) 筆者らの基本的考え

日本の国土の70%は山地であり、河川中上流域ではその間に細長い氾濫原（谷底平野）が形成されている。谷底平野は冠水頻度が高いので主に水田として利用され、市街地の多くは河岸段丘や山裾台地上にある。また水田地域内の集落は冠水頻度の少ない自然堤防上に形成されている。そこに築堤すると河岸段丘と堤防に囲まれた閉鎖性氾濫原が多数できる（図-1⁹⁾）。このような半人工的地形は水田の冠水頻度を下げる一方、下流への洪水量を増大させる。また、閉鎖性氾濫原の堤防が決壊した際には自然状態より大きな冠水深が長時間継続する。

そこで筆者らは以下のような堤防整備を考える。土堤の安全保障限界は計画高水位（以下では HWL）とされるので、HWL を天端とする耐越水性の越流堤によって、図-2(a)のハッチ部分で模式的に示すように、河道容量を超える水量のみを洪水させる。一方図-2(b)には HWL 到達時に堤防が決壊した場合に氾濫する部分を模式的に示している。越流堤からの洪水量は堤防決壊時の氾濫水量に比較して小さく、堤内民地への影響も少ないであろう。また、越流堤を谷底平野に多数設置すれば、超過洪水のピーク流量が徐々に低減し、下流河道の安全性向上が図られるであろう。

ところで天端からの越水が許されないフィルダムでは超過洪水時の安全性を確保するために非常用洪水吐を設置することとされているが、HWL 越流堤は、そのような非常用洪水吐と同様の効果を持つことが期待される。加えて洪水位置および洪水時間が限定されることから、氾濫域における対策（二線堤、水害防備林など）の計画も立てやすくなるであろう。

図-1(a)の地形パターンでの計画的洪水の例は既に存在する。2018年西日本豪雨で大水害を受けた肱川では2022年に河川整備計画を変更し¹⁰⁾、上流の閉鎖性氾濫原の築堤においてHWLを天端とする「暫定堤」を多数設置することとした。その位置と堤防断面図を図-3に示すが、筆者らが過去に阿武隈川上流域を対象に提案した計画的洪水施設⁷⁾に酷似している。ただし計画的洪水は現行の治水計画では正式には認められていないので、下流の大洲市中心部の治水安全性が十分確保された後には完成堤防に高上される予定である。しかし計画高水流量に対応した河川整備には時間がかかることから、現行整備計画完了後もしくはしばらくは存置されることになっている。

(2) 河川合流部における計画的洪水

国交省は、流域治水の本格的実践として2024年に「水害常襲地帯における流域治水対策の推進」という制度を創設した¹¹⁾。その概念図を図-4に示す。本制度は、下流の河道整備を待たずに中上流区間の家屋等の浸水被害軽減を図ることを目的とし、外水を安全に堤内民地に流入させる堤防整備とともに、浸水区域の家屋被害を減じるために家屋移転や宅盤嵩上げの費用を河川管理者が援助できるとするものである。この概念図からわかるように、本制度は、本川からの back water による支川災害の頻発化に鑑み2022年に創設された流域治水型災害復旧制度¹²⁾を事前防災に拡張したものである。

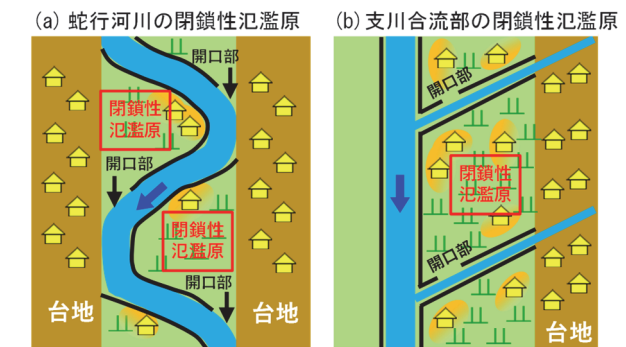


図-1 河川中上流部の閉鎖性氾濫原

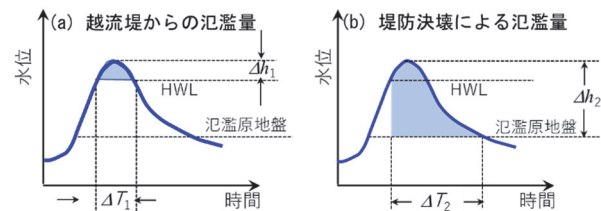


図-2 越流堤からの氾濫と堤防決壊による氾濫

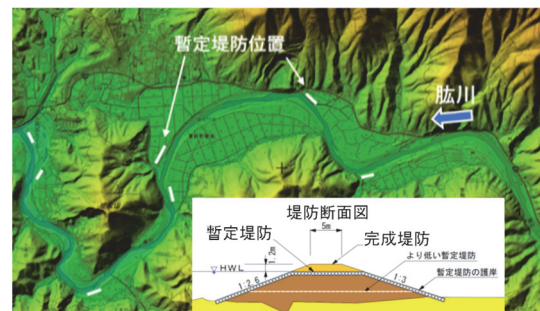


図-3 肱川中流部県管理河道の暫定堤防位置図

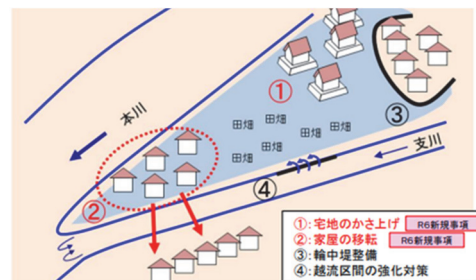


図-4 水害常襲地帯における流域治水対策の推進イメージ

減を図ることを目的とし、外水を安全に堤内民地に流入させる堤防整備とともに、浸水区域の家屋被害を減じるために家屋移転や宅盤嵩上げの費用を河川管理者が援助できるとするものである。この概念図からわかるように、本制度は、本川からの back water による支川災害の頻発化に鑑み2022年に創設された流域治水型災害復旧制度¹²⁾を事前防災に拡張したものである。

従来の流域治水1.0では、河川区域対策を「氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策」と位置づけ、氾濫原への洪水のさせ方は特に論じられていなかった。上記の制度は必ずしも超過洪水を対象としてはいないものの、堤内民地への外水の洪水を想定しているという点におい

て、超過洪水に対する計画的溢水と共通している。

河川合流部の三角地帯はもともと内水が湛水しやすい場所であるため、無堤として自然の遊水機能を保全している所も多い。そこで筆者らは、北上川の谷底平野の比較的小さな支川の合流部を対象に計画的溢水の有効性を検討した⁷⁾。しかし適正な溢水計画は氾濫原の地形条件に左右されるので、種々の条件でCase studyを積み上げる必要がある。そこで本報告では、本川と同規模の支川が合流する場合を対象にして新たなCase studyを実施した結果を提示する。

3. 河川合流部における計画的溢水のCase study

(1) 検討対象区域の概要

Case studyの対象は秋田県を流れる雄物川の上流の皆瀬川合流地点である。雄物川は秋田県南部を北流し秋田市で日本海に注ぐ一級河川で、流域面積は4710 km²、幹線流路延長は133 kmである。皆瀬川合流点は河口から94.0 KPにある。図-5に河川整備基本方針¹³⁾に示される高水流量配分図を示す。なお基本方針における目標治水安全度は、椿川観測所より下流で1/150、上流で1/100とされている。()内の数字は2044年を目途する第一期河川整備計画¹⁴⁾における目標流量で、皆瀬川合流点より7 km下流の雄物川橋における2800 m³/sは、同地点の戦後最大洪水(1987年8月7日)の推定流量に等しい。

合流点付近の治水地形分類図を図-6に示す。図中にはCase studyで想定する超過洪水対策施設も記入している。両河川に挟まれた氾濫原には旧河道が錯綜しており、曾ては合流点位置も含めて流路が大きく変遷していたと考えられるが、現在は圃場整備が進み、一面の水田となっている。氾濫原内の集落は、段丘および自然堤防上にある。合流点直上流の本川右岸は内水排除のために約1 kmにわたって無堤であり、三角地帯頂点付近の堤内地は自然の遊水機能を有していると考えられる。

超過洪水対策施設の凡例を右上に示している。越流堤位置は、(a)本川上流、(b)本川下流、(c)支川下流の3か所とし、延長はいずれも600 mとした。ただし各検討ケースでは、3つの候補地のうち1か所ないし2か所である。なお、合流点からの距離の違いによる治水効果量の差異を見るため、土地利用や旧河道跡を基に本川、支川とも2か所を越流堤候補としたが、支川上流部は堤内地盤が高く溢水量が小さいため越流堤候補から除外した。

排水施設はフラップ・ゲートを内蔵したオリフィスとし⁷⁾、[外水位>内水位]の時は締め切れ、[外水位<内水位]の時には水位差により自然排水されるものとする。なお、現状の合流点付近の無堤部には築堤するものとするが、完全に締め切ると上流からの溢水流入により堤内水位が極度に上昇し、堤内側から破堤する恐れがある。

そこで、内外水位の高低差により双方向に流れ得る

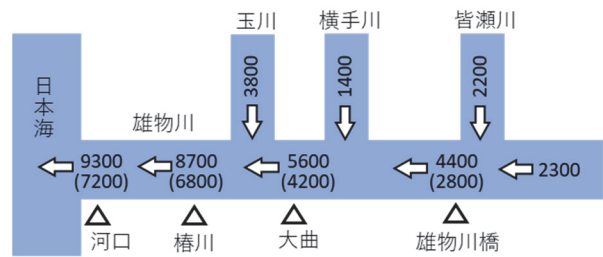


図-5 雄物川高水流量配分図

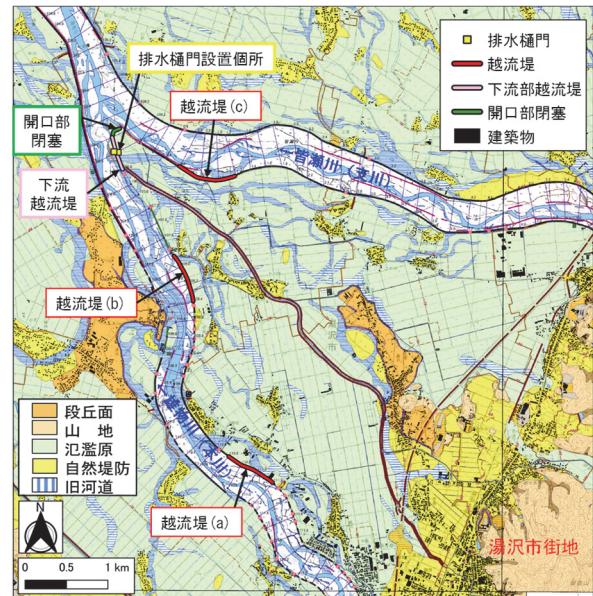


図-6 検討対象区域と超過洪水対策施設

表-1 本研究で想定する超過洪水の規模

	設定理由	雄物川橋 ピーク流量	戦後最大流量 に対する倍率
洪水-1	計画高水流量	4400 m ³ /s	1.57
洪水-2	中間的超過洪水	3880 m ³ /s	1.39
洪水-3	流域治水2.0	3360 m ³ /s	1.20

ように、天端高がHWL+0.5 mの越流堤とした。

(2) 想定する超過洪水の規模

超過洪水対策施設の詳細設計は河道改修事業の進捗状況によって異なるが、本研究では国土強靱化の取り組みにより戦後最大流量相当までの河川改修が行われた時点(2045年頃)を想定する。前述のように雄物川橋(上流区間の管理基準点)の戦後最大流量は2800 m³/sであり、現在の当面整備計画流量に等しい。

一方、超過洪水の規模として、現在の計画高水と流域治水2.0の対象洪水(戦後最大流量の1.2倍¹⁵⁾)およびそれらの平均を想定する。以下では、洪水規模の大きい順に洪水-1、洪水-2、洪水-3と呼ぶ。それらのピーク流量および戦後最大流量に対する比率を表-1に示す。因みに一級河川における基本高水流量の戦後最大流量の平均的比率は約1.3であり²⁾、洪水-2の値とほぼ同じである。

洪水-1については流量波形が図-7の赤線のように与え

られている¹³⁾。他の2洪水については相似波形を仮定し、ピーク流量に合わせて同図に示すように設定した。

合流点より上流の河道における流量は降雨分布によって変化するが、ここでは高水流量配分図(図-5)に記載されている流量(雄物川:2300 m³/s, 皆瀬川:2200 m³/s)の比率で分割して与えた。なお、合流点から雄物川橋までの間の残留域からの流出と合流部三角地帯に発生する内水については考慮しない。

(3) 数値シミュレーションの概要

a) 流動シミュレーションモデルについて

非構造三角形格子に基づく浅水流モデル¹⁶⁾を用いて河道部と氾濫原を一体で解析した。また越流堤の越流量算定には本間公式¹⁷⁾を用いている。各モデルの数式については文献を参照いただきたい。なお計算区間の下流端は雄物川橋(合流点から7 km 下流)、上流端は両河川とも合流点から7 km 上流とした。Manningの粗度係数は、河道部分については現行整備計画に記載される数値(低水路:0.029, 高水敷:0.037)を用いた。氾濫原はほとんど水田であるので、洪水浸水想定区域図作成マニュアル¹⁸⁾で農地について推奨されている0.020~0.060の中央値0.040を用いた。また地盤高の設定には、基盤地図情報¹⁹⁾の5 m メッシュ数値標高モデルを使用した。

b) 境界条件について

河道の計算区間上流端では流量が与えられるが、浅水流モデルの変数は水深および2方向の線流量(流速×水深)なので、等流状態を仮定して断面直交方向の線流量を次のように求めた。

$$q(y) = \frac{1}{n(y)} (H_u - Z(y))^{5/3} I^{1/2} \quad (1)$$

ここに y は横断方向座標、 $q(y)$ は断面直交方向の線流量の横断分布、 $n(y)$ はマンニングの粗度係数である。また、 H_u は横断平均水位、 $Z(y)$ は河床高、 I は河床勾配である。線流量 $q(y)$ の横断方向積分値は総流量 Q_u なので式(2)を得る。ここで式(1)の $n(y)$ 、 $Z(y)$ および I は与えられるから、 Q_u は横断平均水位 H_u のみの関数とみなせる。

$$\int q(y) dy = Q_u(H_u) \quad (2)$$

そこで式(1)において H_u を仮定して $q(y)$ を計算し、それを式(2)に従い横断方向積分して Q_u と H_u の関係を各上流端について予め求めておくことができる。そこで数値シミュレーションでは指定された Q_u から H_u を逆算し、式(1)を用いて線流量 $q(y)$ を上流端に与えた。

計算下流端についても上記と同様の方法で流量 Q_d と水位 H_d の関係を予め求めておくことができる。そこでまず前時間ステップで得られた H_d を用いて数値シミュレーションを行い、得られた $q(y)$ を式(2)により横断方向に積分して総流量 Q_d を求め、 Q_d と H_d の関係から H_d を求め直して再び数値シミュレーションを行う。

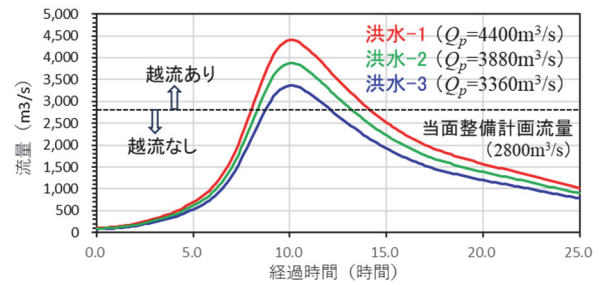


図-7 雄物川橋における超過洪水波形

表-2 ピーク流量低減率

ケース名	越流堤位置 (図-6参照)	ピーク流量低減率 (%)		
		洪水-1	洪水-2	洪水-3
Case-0	合流点開口	1.78	1.32	1.40
Case-1	(a)	2.95	4.56	4.41
Case-2	(b)	1.82	2.30	3.15
Case-3	(c)	1.68	1.90	2.48
Case-4	(a) + (b)	2.41	3.37	5.28
Case-5	(a) + (c)	2.41	3.30	5.45
Case-6	(b) + (c)	1.71	1.93	2.99

(注) 洪水-1: 計画高水流量、洪水-2: 洪水-1と洪水-2の間
洪水-3: 流域治水2.0の目標流量(戦後最大流量の1.2倍)

c) 越流堤天端および排水樋門について

越流堤天端は、戦後最大流量に対応する定常流計算により定めた。堤防は全て壁立てとして得られた水位縦断分布に合致するように越流堤天端高を定めた。

排水用のオリフィスの流量は、外水位>内水位の場合はゼロで、外水位<内水位の場合のみ次式で与えた。

$$Q_{out} = \sqrt{2g(H_{in} - H_{out})} A \quad (3)$$

ここに、 Q_{out} はオリフィスからの排出量(m³/s)、 H_{in} と H_{out} は堤内地側水位と堤外地側水位、 A はオリフィス断面積(5 m²)、 g は重力加速度(9.8 m/s²)である。

(4) 数値シミュレーション結果及び考察

a) ピーク流量低減効果

雄物川橋におけるピーク流量から次式で定義されるピーク流量低減率 r (%)を表-2に一括して示す。

$$r = \left(1 - \frac{Q_p}{Q_{p0}}\right) \times 100 \quad (4)$$

ここに Q_{p0} は両河川の流入波形のピーク流量の合計値、 Q_p は下流端流出波形のピーク流量である。

まず洪水-3に対しての r には次の傾向がみられる。(1)合流点が開口しているCase-0に比較して、越流堤方式では r が増加する。(2)越流堤を複数配置すると、1基のみの場合より r は増加する。(3)越流堤を上流に配したCase-1は下流に配したCase-2より r が大きい。これは流水型遊水地⁶⁾と同様に、越流位置から貯留区域までの流達区間での滞留が生じるからである。(4)越流堤を本川に配したCase-1、2は支川に配したCase-3より r が大きい。これは本川の河床勾配が支川に比べて小さいために流下過程

での一時的滞留による貯留が大きいためである。

次に洪水-1 では洪水-3 より r が低下していることがわかる。これは三角地帯頂点付近の堤内地の貯留空間が早期に満杯になり下流越流堤から河道に溢水するからである。特に越流堤 2 基の場合にその傾向が大きい。また越流堤 1 基の場合は、越流堤位置が貯留空間に近い Case-2 と Case-3 に比較して、本川上流に配した Case-1 での r の低下量が小さい。この理由は、越流位置から貯留空間に至る経路も一時的な貯留効果を持つからである。なお、洪水-2 では、洪水-1 と洪水-3 の中間的な値となっている。

b) 越流水の挙動

Case-1 では越流堤から貯留空間まで氾濫水が地形勾配に従って流下するので、その経路上での家屋の安全性が問題となる。そこで図-8 に Case-1 の洪水-1 における最大浸水深と最大流速の空間分布を治水地形分類図とともに示す。集落のある自然堤防上の多くは冠水せず、冠水する場合でも最大浸水深は概ね 1 m 以下である。合流部突端付近(A)では浸水深が 2 m を超えるが、もともと無堤であるため集落は存在しない。また(B)と(C)の浸水深 2 m 以上の部分は、その下流側の道路盛土により氾濫水が滞留するが家屋は存在しない。一方、旧河道に隣接する集落の一部(D)で 1 m/s 以上の高流速が発生している。

そこで家屋安全性の観点から次式で定義される流体力²⁰⁾の最大値分布を、3 洪水に対して図-9 に示す。

$$HF = h U^2 \quad (5)$$

ここに HF は流体力、 h は冠水深、 U は氾濫流速であり、 HF と木造家屋の損壊とは以下の関係があるとされる²⁰⁾。

$HF \leq 1.5$	被害僅少
$1.5 < HF \leq 2.5$	半壊
$2.5 < HF$	全壊

洪水-1 と洪水-2 では赤丸を付した集落(D)の一部で半壊の恐れのある値($HF > 1.5$)が発生するが、洪水-3 では全て被害僅少の範囲に入っている。そこで被害の恐れのある少数の家屋の宅盤を嵩上げすれば²⁰⁾、計画高水規模の超過洪水まで安全性を確保できる可能性がある。

4. おわりに

(1) 河川整備基本方針の限界と当面目標の重要性

現在の河川整備基本方針は 2°C の地球平均気温上昇を想定している²⁰⁾。各種の気温変化予測値は社会対応シナリオによって異なるものの、概ね 2040 年頃に 2°C 上昇に達すると考えられている¹⁵⁾。一方、一級河川の整備状況は依然として低く、当面目標として 2045 年を目途に戦後最大洪水対応の整備を進める状況にある¹⁾。したがって当分の間は河道容量を超える水量を流域内のどこに溢水させるかが重要となるはずで、それを含めた河川整備方式が検討されねばならないと筆者らは考えている。

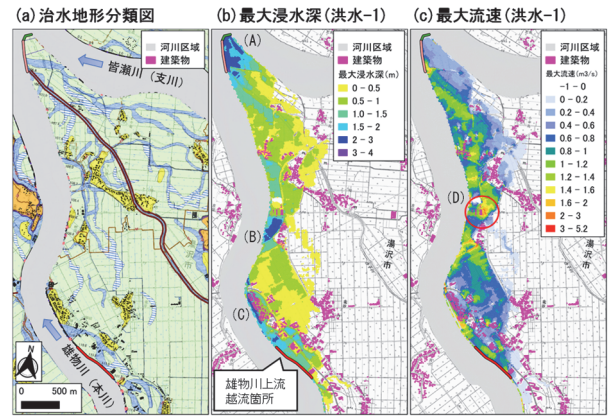


図-8 氾濫水の挙動：Case-1 における洪水-1 (計画高水流量)

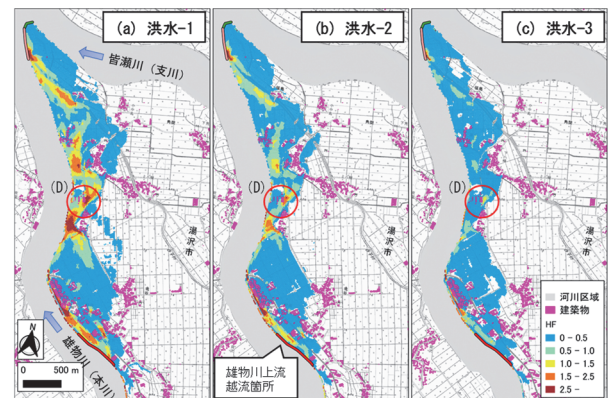


図-9 超過洪水の規模による HF の変化

しかし現在の流域治水プロジェクトでは、河川整備事業を「氾濫をできるだけ防ぐ・減らすための対策」として位置づけている。この方針を直轄管理上流河道や支川及び上流の県管理河道に適用すれば、中下流部の洪水流量が増大することは明らかであろう。そこで上流域の住民が納得する形で超過洪水を安全に溢水させる新たな治水方式への転換を考えざるを得ないと思われる。

河川上流部には河岸段丘と人工堤防（暫定または暫暫定）で囲まれた閉鎖性氾濫原が多数あり、概ね水田として利用されている。都市は概ね河岸段丘および山裾高地上にあって、水田農業を生業とする人々の集落は水田よりやや高い自然堤防上に位置している。したがって超過洪水のピーク部分の水量（図-2(a)参照）のみを多数の閉鎖性氾濫原に分散して溢水させれば、全体としてかなりの遊水効果が得られる可能性がある。

計画的溢水については「住民の合意を得られるのか」という疑問が提出されてきた。しかし行政と住民という人間界の合意以前に、前述した事由により超過洪水に対する計画的溢水を考えなければ水害は確実に増加する。

一方、計画的溢水は閉鎖性氾濫原の安全性確保にとっても必要と考えられる。土堤の安全性は HWL までしか保証されないため、水位がそれを超える洪水では破堤の危険性が急激に高まる。そこで HWL を超える水位の低下と継続時間の短縮を図る必要がある。耐越水性の越流堤による計画的溢水は、堤体越水が許されないフィ

ルダムにおける非常用洪水吐と類似した機能を持つ。

加えて次の視点も重要である。河川整備は下流から行うという原則により上流域の堤防整備はこれから進められるところが多い。そこで、戦後最大洪水対応に向けた築堤および堤防強化による安全性向上と合わせて計画的溢水という超過洪水対策についての理解と合意を得やすいのではないだろうか。図-3で述べた肱川上流部の築堤計画がその参考になると思われる。

(2) 計画的溢水を含む河川計画へのパラダイムシフト

一級河川において戦後最大洪水を安全に流下させられる河道の構築は2045年とされている。また、水系ごとに時間差はあるものの、現在進行中の第一期河川整備事業もほぼ同時期に終了する。そこで2045年を目途として計画的溢水の可能性を水系ごとに検討してはどうだろうか。河川区域内だけを対象とする従来の治水計画と異なり、計画的溢水の効果は氾濫原の地形や土地利用に依存するので、数値シミュレーションによるCase studyを積み上げる必要がある。その上で河川整備の方法の選択肢の一つとして制度化したらどうかと筆者らは考える。

ところで、大規模な河道造成ができず超過洪水が頻繁に生じた近世には、氾濫原の水準測量を入念に行い、洪水の溢れさせ方を研究し、土木技術史に残る治水計画を構想し実施した²³⁾。また霞堤などの堤防開口部や大出水時に開口するヒューズ堤が超過洪水対策としての有力な手段であったが、土木技術の発達とともに忘れられつつある。気候変動によって超過洪水の恐れが高まりつつある現在、「堤内民地に溢水させる河川技術」の検討が必要になると思われるが、どうであろうか。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省東北地方整備局河川部河川計画課および四国地方整備局大洲河川国道事務所から資料を提供いただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 内閣官房国土強靱化推進室：防災・減災，国土強靱化のための5か年加速化対策に関する中長期目標一覧，https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/5kanen_kasokuka/pdf/chuuchouki_mokuhyou.pdf（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 2) 中村晋一郎，佐藤裕和，沖大幹：我国における戦後既往最大流量の特徴，土木学会論文集 B1（水工学），vol.68，no.4，2012。
- 3) 宮津進，松下時生，岩村祐暉，吉川夏樹：田んぼダムの適用限界に関する一考察，土木学会論文集 B1（水工学），76巻，2号，p. I_805-I_820，2020。
- 4) 国土交通省：貯留機能保全区域の指定に係る固定資産税・都市計画税の特例措置，<https://www.mlit.go.jp/river/kasen/tokuteitoshikasen/pdf/6.pdf>（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 5) 清治真人：氾濫域対策を含めた恒久的治水理念の考察，土木学会論文集 B1（水工学），67巻，4号，p. I_637-I_642，

2011。

- 6) 石川忠晴：今後の超過洪水対策における計画的氾濫について，水文・水資源学会誌，33巻，6号，p.263-270，2020。
- 7) 妹尾泰史，石川忠晴：河川上流部における超過洪水用分散型遊水地の提案と阿武隈川を対象とした試算，河川技術論文集，28巻，p.439-444，2022。
- 8) 板垣修，大原美保，小池俊雄：貯留分担による安全で豊かな地域形成のための堤防越水箇所整備の検討，水文・水資源学会誌，35巻，5号，p.325-338，2022。
- 9) 石川忠晴，名本伸介：築堤に伴い谷底平野に発生する閉鎖性氾濫原での治水対策に関する提案と試算，土木学会論文集 B1（水工学），78巻，2号，p. I_223-I_228，2022。
- 10) 国土交通省四国地方整備局，愛媛県：肱川水系河川整備計画（変更）【中下流域】，p.24，p.113，2022。
- 11) 国土交通省水管理・国土保全局：令和6年度予算の概要，河川，No.933，P.8，2024。
- 12) 国土交通省水管理・国土保全局：令和4年度予算の概要，河川，No.909，P.5，2022。
- 13) 国土交通省河川局：雄物川水系河川整備基本方針，平成20年1月，
https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/omonogawa22-1.pdf（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 14) 国土交通省東北地方整備局：雄物川水系河川整備計画（大臣管理区間），平成26年11月，
https://www.thr.mlit.go.jp/yuzawa/01_kawa/gakushikikon/pdf/seibi_keikaku.pdf（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 15) 国土交通省水管理・国土保全局：流域治水プロジェクト2.0の展開，河川，No.933，P.5，2024。
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001625033.pdf>（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 16) 赤穂良輔，前野詩朗，高橋巧武，吉田圭介，石川忠晴：微地形を考慮した氾濫解析手法の検討と鬼怒川洪水氾濫域を対象とした数値実験，土木学会論文集 B1，Vol.74，No.4，I_1441-I_1446，2018。
- 17) 本間仁：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，26巻，6号，pp.635-645，1940。
- 18) 国土交通省水管理・国土保全局：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）平成27年7月，
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 19) 基盤地図情報ダウンロードサービス，
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>（最終閲覧日：2024年4月2日）。
- 20) 佐藤智，今村文彦，首藤伸夫：洪水氾濫の数値計算および家屋被害について-8610号台風による吉田川の場合-，水理講演会論文集，33巻，p.331-336，1989。
- 21) 国土交通省水管理・国土保全局：令和6年度予算の概要，河川，No.933，P.5，2024。
- 22) 国土交通省水管理・国土保全局：気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について（答申報告），河川，No.890，P.12，2020。
- 23) 石川忠晴：江戸時代の治水思想が流域治水プロジェクトの計画と実践に与えるヒントについて，土木学会論文集 D3（計画学），Vol.78，No.6，II_509-II_521，2022。

(2024.4.3受付)