

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

石川忠晴¹・名本伸介²

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二丁目 4-15)
E-mail: workishikawa0612@yahoo.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 (株) 東京建設コンサルタント河川本部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚一丁目 15-6)
E-mail: namoto-s@tokencon.co.jp

全球的気候変動による豪雨規模の増加に備えるために、氾濫の軽減と遊水機能保全のバランスを考えた築堤計画が望まれている。河川上中流部の谷底平野で築堤が進むと「閉鎖性氾濫原」が多数出現し、氾濫原が元来有する遊水機能が喪失する。そこで本研究では、85 km という長大な谷底平野を有する北上川を対象に閉鎖性氾濫原の特徴を調べるとともに、超過洪水時のみに機能する遊水地群として利用する方法を提案した。続いて現行の第一期河川整備計画で想定されている治水安全度 1/90 の河道において 1/150 の計画高水が発生した場合の状況を数値シミュレーションで検討した。その結果、5 km 程度の区間長の閉鎖性氾濫原での洪水ピーク部分の溢水でピーク流量を 2~6 %程度低減できる可能性のあることが示された。

Key Words: valley plain, river embankment, floodplain partition, detention pond, numerical study

1. はじめに

わが国の治水事業は 1964 年の新河川法制定後に水系ごとに定められた工事実施基本計画に従って進められてきた。この計画には目標とする治水安全度は定められていたが、達成時間、費用、具体的内容は規定されておらず、各年度の工事計画の立案および実施に不都合を生じていた。そこで 1997 年の河川法改定に際し、30 年程度を目途とする段階的河川整備計画を作成して事業の一貫性を確保することとされた。この時代の河川計画は“連続堤防により河川氾濫を防ぎ、洪水をできるだけ速やかに海に流出させる”という方針に基づいていた。

一方、全球的気候変動による豪雨規模増加の懸念から、国土交通省は“河川氾濫を前提として”多様な氾濫域対策を含む「流域治水」に舵を切りつつある¹⁾。しかし 2020 年 7 月公表の流域治水プロジェクトにおける河川区域対策では“氾濫をできるだけ防ぐ・減らす”という従来の河川改修事業の方針を踏襲している²⁾。この方針は下流域の都市部においては当然と言えるが、上流域でも同じ考えで築堤を行えば、下流域に達する洪水が増大することは明らかである。つまり上流域での河川区域対策について“遊水効果をできるだけ保全・増強する”という方針を加えることが必要であると考えられる。

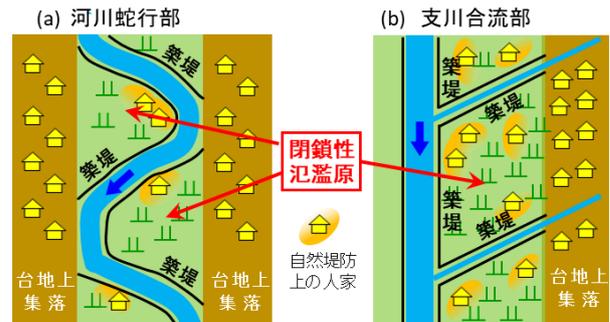


図-1 築堤によりできる閉鎖性氾濫原

多くの河川上流域には、山地や台地に挟まれた谷底平野があり、そこに築堤すると、図-1 に示すように閉鎖性氾濫原が発生しやすい。谷底平野はもともと洪水が氾濫する区域なのでほとんどは水田である。集落の多くは台地上にあるが、比高の大きな自然堤防上にも人家は存在する。築堤が進み水田の冠水頻度が減少すれば、氾濫原上の人家も増えると考えられる。

しかし閉鎖性氾濫原の堤防が決壊すると洪水の出口がないので、以前には生じ得なかった水位上昇の発生する恐れがある。また連続堤防により従来の氾濫原が有していた遊水機能が失われ、下流への洪水が増大する。そこで本研究では長大な谷底平野を有する北上川流域を対象に、それらの問題の解決方策を水理学的に検討した。

2. 河川整備途上における超過洪水対策

氾濫原の閉鎖化による洪水形態変化のイメージを図-2(a), (b)に示す。(a) 築堤前は洪水が氾濫原に広がって流れるので水位上昇は小さく、水田は水没するものの自然堤防上の人家の冠水は稀である。(b) 連続的に築堤すると浸水頻度は当然減少するが、万一堤防が決壊すると洪水の出口がないので、急激な水位上昇が発生し、自然堤防上の家屋も水没する。このような水害形態は、特に河川改修の途上段階で発生する恐れが高い。

そこで図-2(c)に示すように各閉鎖性氾濫原に「越流堤」を設け、氾濫を分散することにより破局的水害を防止する。なお図中の「排水口」は、河道水位低下後に氾濫水を排水するための樋門である。越流堤による計画的氾濫と堤防決壊による氾濫の違いを図-3(a), (b)に示す。前者では超過洪水のピーク部分だけを氾濫させるので、氾濫水量は堤防決壊の場合より遙かに少ない。このような計画的氾濫は超過洪水のピーク流量低減により下流域の治水安全度を向上させるであろう。

なお河川用語集³⁾では「河川整備基本方針における対象洪水を超える規模の洪水」を超過洪水とし、「河道整備が全て完了した時点の計画対象洪水の最高水位」を計画高水位 (HWL) としている。しかし本稿では、各段階の河川整備計画において想定する洪水での最高水位を HWL、それを超える流量の洪水を「超過洪水」と呼ぶ。その理由は以下のとおりである。

図-4 は河川管理基準地点において第1期河川整備計画で想定している目標流量と戦後最大流量の相関を示しており、両者は平均的に等しいことがわかる。2022年は戦後77年であるから、年生起確率で表記する治水安全度は1/75~1/80となる。一方、第一期河川整備事業の2020年時点での“残予算”の全国総計は12.4兆円とされており⁴⁾、毎年の治水予算は1兆~1.5兆円であることから、今後10~15年を要すると考えられる。第二期、第三期の整備事業で不足分を補うことになるが、気候変動による洪水規模と年生起確率との関係が変化すると、後になるほど建設に要する時間と費用が増大すると考えられる。

そこで、期間・予算・実施内容が具体的に定義される各段階の整備計画を単位とし、それぞれの事業に超過洪水対策を組み込むことが考えられる。その概念図を図-5に示す。横軸の堤防安全度は各段階での目標流量の年生起確率である。図中の分数は説明のために便宜上記入した安全度の数値であり、各段階の整備事業により向上としている。通常の「氾濫防止」を旨とする治水では、各整備段階での図中の二重縦線までの安全性のみを考えるが、上に述べた計画的氾濫では、それを超える洪水に対しても“ある程度の安全性”を確保しつつ、洪水ピーク低減による下流域の治水安全度増大も考慮する。

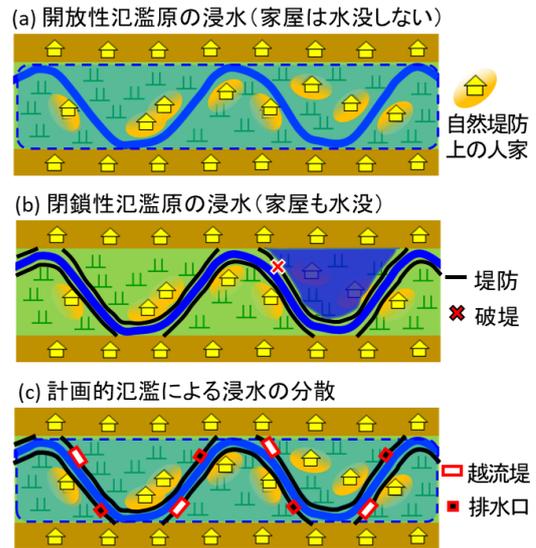


図-2 計画的氾濫による閉鎖性水位域の水害軽減

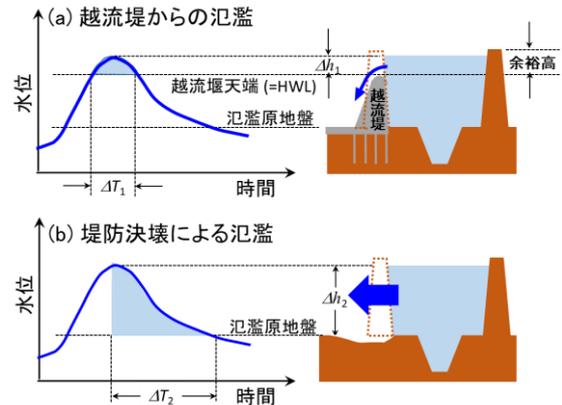


図-3 越流堤からの氾濫と堤防決壊による氾濫

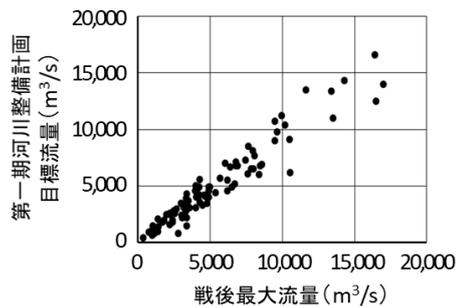


図-4 第1期整備計画目標と戦後最大流量

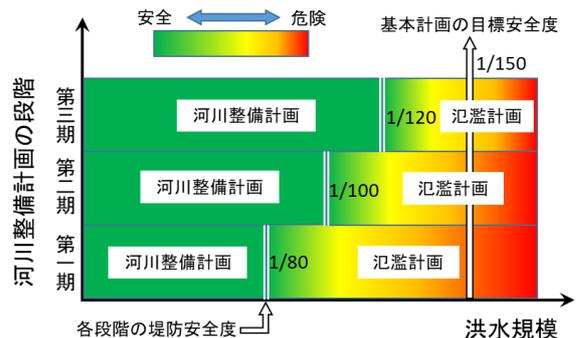


図-5 段階的河川整備計画と氾濫計画

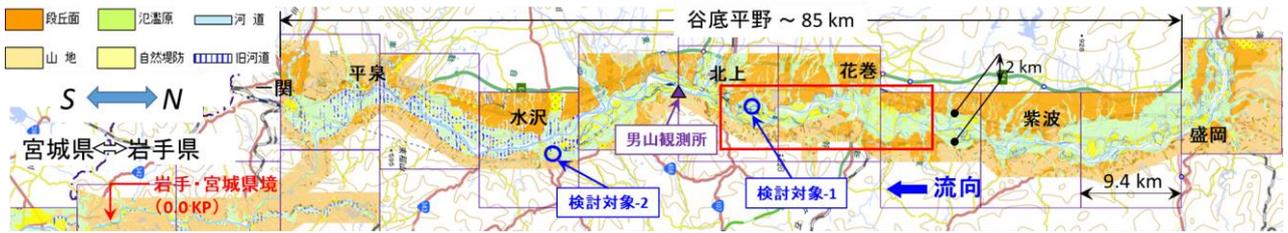


図-6 北上川（岩手県内）の谷底平野

3. 北上川の谷底平野

北上川上流河道を対象として、上述の新たな治水方式の適用性を検討した。北上川は岩手県を縦断して宮城県で太平洋に注ぐ東北地方最大の河川である。河道の総延長は 249 km だが、岩手県内の国管理区間では、図-6 の治水地形分類図（更新版）に示すように幅約 2 km、延長約 85 km の長大な谷底平野を流れている。図中には主要な都市名を黒字で、中流部流量基準点である男山観測所の位置を紫三角で、本稿で検討する 2 つの閉鎖性氾濫原の位置を青丸で記入している。なお北上川水系の目標治水安全度は 1/150 であり、男山地点における計画高水流量は 8000 m³/s となっている。また第一期整備計画対象流量は 6800 m³/s で年生起確率は 1/90 とされている⁹⁾。

図-6 の赤の矩形部分の拡大図に建物分布（ピンクの点）を重ねて図-7 に示す。河川蛇行により分離した氾濫原が、この区間だけで大小合わせて 9 つ存在する。現在進行中の第一期河川整備計画が完了すれば、ほぼ全区間の氾濫原が閉鎖性氾濫原になると考えられる。都市や大型商業施設等、および鉄道や幹線道路は段丘上にある。なお図中には河川堤防が黒実線で示されているが、無堤区間が非常に多くなっている。この理由は、治水地形分類図（更新版）が 2007 年（第一期河川整備事業開始の頃）から順次作成されている中で北上川水系については比較的初期に作成されたためと考えられる。

4. 数値シミュレーションによる検討

(1) 検討対象区域

北上川の谷底平野全体の氾濫シミュレーションは計算負荷が大きく困難である。そこで図-6 に青丸を付した 2 つの位置における閉鎖性氾濫原について検討することとした。検討対象-1 は図-1 に示した河川蛇行部、検討対象-2 は支川合流部の閉鎖性氾濫原に相当する。なお以下では前者を「盆地型」、後者を「支川型」と呼ぶ。

(a) 検討対象-1：盆地型の閉鎖性氾濫原

対象区域の治水地形分類図に建物分布（黒点）を重ねて図-8 に示す。旧河道や自然堤防が複雑に発達していることから、曾ては流路が大きく変動していたことがわ



図-7 北上川谷底平野の閉鎖性氾濫原



図-8 検討対象-1 の地形

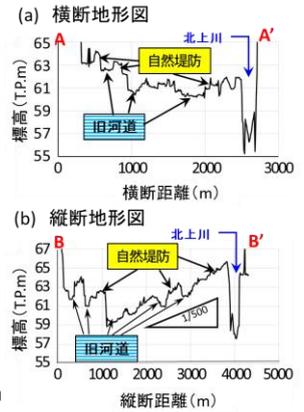


図-9 検討対象-1 の断面形状



図-10 検討対象-2 の地形

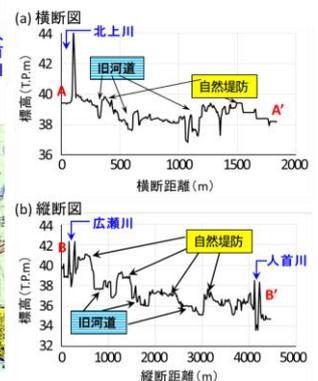


図-11 検討対象-2 の断面形状

かる。谷底平野の氾濫原（薄緑）は全て水田である。自然堤防（黄色）にも建物は存在するが、商業施設等の大型建物はなく、水田農家の住宅等が主であると思われる。

図中に越流堤の位置を緑枠で、排水樋門の位置を赤枠で示している。越流堤は氾濫原の上流端と下流端に置き、堤長はどちらも 200m としている。また排水樋門の幅は 10 m で、外水位 < 内水位 となって以降に開放して自然排水するものとしている。測線 A-A' に沿った横断面形状

を図-9(a)に、測線 B-B'に沿った縦断面形状を図 9-(b)に示す。自然堤防と旧河道の比高は1.5~2.0mだが、自然堤防上に人家が多数あることから、自然堤防が洪水で冠水することは稀であったと思われる。

(b) 検討対象-2：支川型の閉鎖性氾濫原

対象区域の治水地形分類図に建物分布（黒点）を重ねて前頁の図-10 に示している。左支川の広瀬川と人首川に挟まれた南北 5 km、東西 2 km の長方形の閉鎖性氾濫原で、旧河道と自然堤防の配置は比較的直線的であり、曾ての北上川の主流がこの氾濫原を通過していた可能性があると思われる。自然堤防上の建物はいずれも小規模であり、農家の家屋であると思われる。

氾濫原上流端の本川沿いと人首川に越流堤を1基ずつ設け、排水樋門を人首川下流部に1基置いている。図中の測線 A-A'に沿った横断面形状を図 11(a)に、測線 B-B'に沿った縦断面形状を図 11(b)に示している。自然堤防と旧河道の比高は1.5~2.0mだが、人家のほとんどが自然堤防上にあることから、洪水が旧河道を流下しても自然堤防が冠水することは稀であったと思われる。

(2) 数値シミュレーションの方法

洪水浸水想定区域図作成マニュアル⁶⁾で推奨されているモデルを用いた。このモデルは河道流に対して一次元不定流式を、氾濫流に対して矩形格子の浅水流方程式を用い、両者を連立して解を求めるものである。具体的な数式については同文献を参照されたい。地形条件等は北上川浸水シミュレーション検討資料⁷⁾で用いられているものをそのまま使用した。計算格子は25 m×25 m、氾濫域の Manning の粗度係数は同マニュアル⁶⁾に示されている土地利用状態別の値が用いられている。

堤防壁立て条件における整備計画の対象洪水（年生起確率 1/90）の不定流計算結果⁷⁾から各検討対象地点の最高水位を求め、越流堤天端高を定めた。この不定流計算は直轄管理全期間について支川および残留域からの流入量を含めて計算されている。計算下流端は図-6 左端の岩手・宮城県境（0.0 KP）であり、そこでは水位-流量関係が境界条件として与えられている。以上で定められた越流堤天端まで堤防を切り欠き、他の部分は堤防壁立てとして、基本計画の水力条件（年生起確率 1/150）で数値シミュレーションを行い、計画的氾濫の効果を算定した。図-12 に両地点における基本計画および整備計画の本川流量波形を示す。

5. 検討結果

(1) 検討対象-1（盆地型）の計算結果

図-13(a), (b)に氾濫原の最大浸水深分布と流入ピーク直後の流速絶対値の分布を示す。下流排水樋門に向かう

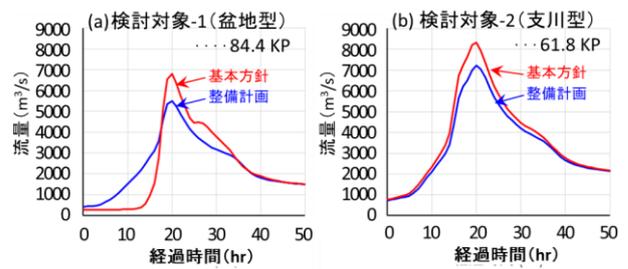


図-12 当該地点での計画洪水波形

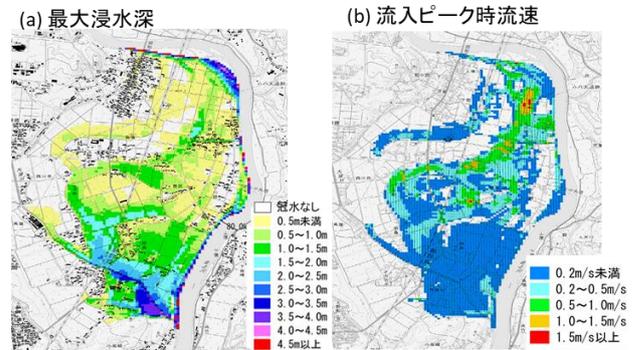


図-13 浸水深と流速分布

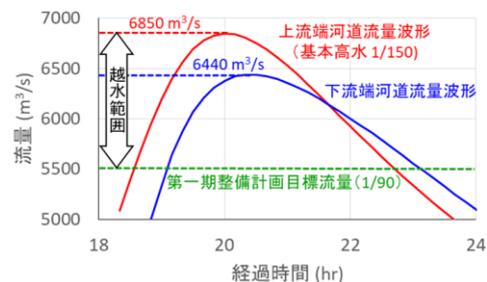


図-14 洪水波形の変化

旧河道で大きな浸水深が発生しているが、ここには山間からの沢水を集めて本川に排水する水路がもともと存在している（図 8 参照）。その他の部分の浸水深は 2 m 以下であり、人家が集中する自然堤防上では 0.5 m 未満である。また氾濫流速は、人家のある自然堤防上の冠水域では概ね 0.2 m/s 以下であることがわかる。

図-14 に流量波形の変化を示す。両矢印で示す範囲で越水が生じており、ピーク水位は 6850 m³/s から 6440 m³/s に減少している（減少率：6%）。この量はわずかのようだが、検討対象区間長は約 5 km であり、総延長 85 km の谷底平野（図 7 参照）に同様の施設を多数設ければ、超過洪水をかなり低下できると思われる。

次頁の図 15 は越流堤位置での水位流量関係を示している。水位は第一期整備計画流量（5500 m³/s）で越流堤天端に達する。一方、河川管理施設等構造令によれば、本区間の基本計画対象流量（6800 m³/s、年生起確率 1/150）に対する余裕高は 1.5 m であり、堤防越水は生じていない。また、水位が堤防天端に達する流量は約 7300 m³/s（年生起確率は約 1/200）であり、本施設はこの流量の超過洪水まで機能する可能性があると言える。

(2) 支川型 (検討対象-2) の計算結果

北上川河川整備計画では下流の人首川 (図-10 参照) では流入波形が想定されているが、上流の広瀬川では与えられていない。そこで広瀬川合流点直上流で本川流量波形を与え、人首川では図の上流端で流入波形を与えた。

まず氾濫が生じない条件 (全ての堤防を壁立てとした条件) で計算を行い、氾濫を考慮した条件で得られる下流端流量との差を計画的氾濫による洪水調節効果とした。

図 16(a) に最大浸水深分布を、図 16(b) に流入ピーク後の流速絶対値の分布を示す。図 10 に示した地形図と対比すると、主たる氾濫域は旧河道であり、人家が集中する自然堤防上の浸水深はほぼ 0.5 m 以下であることがわかる。なお人首川下流側の排水樋門付近では 2.5 m 程度の浸水深となるが、この辺りには人家は存在しない。また氾濫流速は人家のある自然堤防上の冠水域では概ね 0.2~0.5 m/s であることがわかる。したがって大きな水害は生じないものと考えられる。

図 17 に本川流量の調節効果をまとめている。本区間は検討区間-1 よりかなり下流なので本川ピーク流量は $9000 \text{ m}^3/\text{s}$ と大きくなっている。また人首川からの流入があるため下流端の流量は増加する。計画的氾濫を行った場合のピーク低減量は約 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、低減率は 2.2 % であり、検討対象-1 の盆地型氾濫原より小さい。この理由は、氾濫水が主に流下する旧河道が 1 本だからである。本研究で使用した浸水想定区域図作成業務資料⁷⁾では、広瀬川の河道地形が含まれていなかったために本川沿いに越流堤を設定したが、広瀬川の河道に越流堤を設ければ、複数の旧河道を利用できるので洪水調節効果が高くなったと思われる。その理由は、図-3(a) に示したように、計画的氾濫の対象が洪水ピーク付近だけだからである。

6. 超過洪水対策に関する考察

気候変動に伴う豪雨規模の増大により、河川に加わる外力は増加する。それへの対処についての筆者らの考えを図 18 に要約している。これまでの技術力の進歩により土木工学は自然外力のかなりの部分を処理できるようになった。しかし今後の気候変動により土木技術力は“相対的に”低下するであろう。つまり一昔前の土木技術者と同様に“超過外力への対処”が重要な課題になる。そこで大断面の連続堤防が建設できなかった近世の治水方式を現代の超過洪水対策に応用することが考えられる。

当時は河道容量以上の洪水の一部を旧洪水流路に計画的に導く方法が採用されていた⁸⁾。そこで本研究では、河道容量を超える分だけを閉鎖性氾濫原に流入させることにより本川河道の負担を軽減する手法を検討した。その結果、大きな浸水深は主に旧河道等の窪地で生じ、人

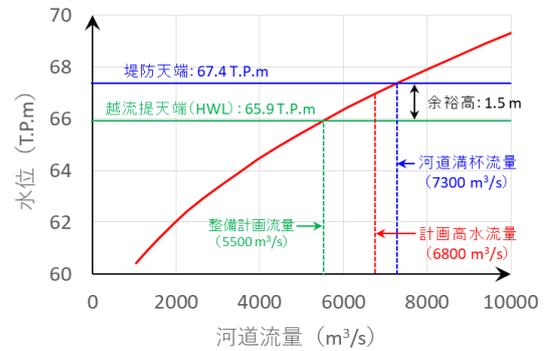


図-15 水位上昇が余裕高の内であることをチェック

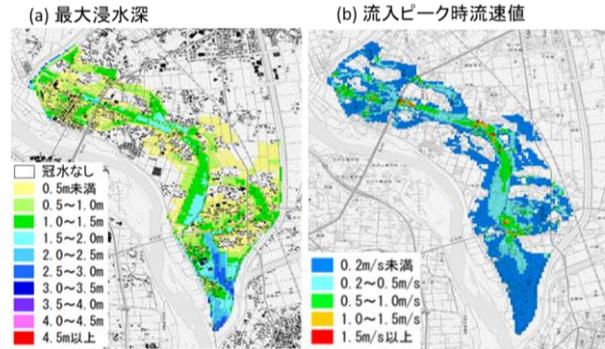


図-16 浸水深と流速分布

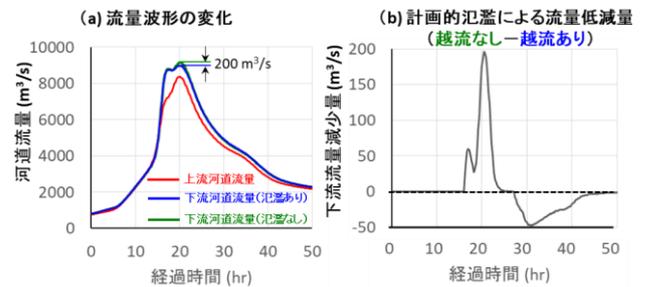


図-17 支川合流部閉鎖性氾濫原の洪水調節効果

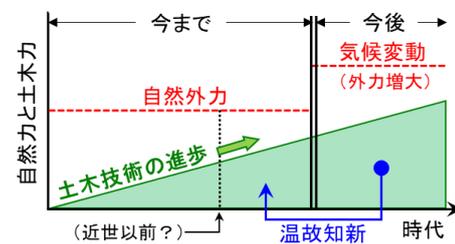


図-18 自然外力の優位性と温故知新

家のある自然堤防上の冠水を小さく抑えつつ超過洪水ピーク流量を削減できる可能性が示された。

ただし本手法を実地に適用するには、1964年の新河川法制定以降踏襲されている“超過洪水を考慮しない”治水計画制度の一部改善が必要になると思われる。そこで以下では、将来のこととして、この点について考察する。

現行の治水計画では、原則として連続堤防により定義される河川区域内で洪水を処理するとされている。また遊水地を設ける場合においても用地買収ないし地役権設

定により河川区域指定を行うこととされ、その場合には遊水機能を阻害する地物を撤去しなければならない。このことが超過洪水対策を念頭におく今後の治水事業に対する合意形成を困難にする恐れがあると思われる。

そこで、今後の治水事業においては「遊水地＝河川区域」という先入観を捨て、堤内民地の遊水機能も活用する制度の創設が必要になると考えられる。2021年5月に国会で承認された「特定都市河川浸水被害対策法」の改正により、洪水や雨水を一時的に貯留する機能を有する河川沿いの民地について、土地所有者の同意のもとに都道府県知事が「貯留機能保全区域指定⁹⁾」を行えるようになった。この制度は、地役権設定方式の遊水地と異なり既存の家屋等の撤去は不要であり、また貯留機能を阻害する地物を新たに設置する場合でも事前の届け出により可能な場合がある。加えて期限付きではあるが税制優遇措置によりインセンティブを高めている。

気候変動による水害激化が予想される今日、民地の遊水機能の活用の必要性は高まっている。上記制度の現在の対象は特定都市河川に限られているが、同様の制度を一般流域に拡張することは十分考えられる。以上の状況を念頭に、筆者らは、上流域の閉鎖性氾濫原の超過洪水調節施設への合意形成を次のように考えている。

河川整備事業は一般に下流から行われるので、現状における上流域の治水安全度は下流域よりも低い場合が多い。そのため、氾濫原の多くは水田である。そこで、以下の2点を明確にした上で閉鎖性氾濫原内の地権者の合意を得て、上述の貯留機能保全区域と同様の区域指定を行うことが可能ではないかと思われる。

- (1) 河川整備事業の各段階における目標治水安全度（北上川の場合は1/90）までは、河川氾濫を確実に防ぐ（図5参照）。つまり現計画の目標において計画的氾濫区域とその他の区域を差別化するわけではない。
- (2) その上で、将来的目標である基本計画対象洪水（北上川の場合は1/150）に対しても旧河道等の窪地を除けば水害は軽微で済むことを数値計算等で示す。

7. おわりに

現状の治水予算の制約の下で全球的気候変動に伴う豪雨規模増加に対処するには、堤防ストックと自然地形を組み合わせた安価で且つ柔軟性を持つ超過洪水対策施設の検討が必要とされる。本研究では谷底平野における一つのアイデアを提案したが、このような施設は地形条件に依存するので、個々の流域特性に合わせた検討が必要になろう。検討事例をさらに増やしていきたいと考えている。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、国土交通省東北地方整備局河川計画課および岩手河川国道事務所調査第一課から種々のデータ提供と助言をいただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省 website：社会資本整備審議会答申「気候変動を踏まえた治水計画のあり方について」2020.
- 2) 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，日本河川協会，No.890，pp.10-14，2020.
- 3) 国土技術政策総合研究所：河川用語集，2004.
- 4) 石川忠晴：河川管理者に望まれる意識改革について，科学，岩波書店，Vol.91，No.7，2021.
- 5) 国土交通省東北地方整備局：北上川水系河川整備計画[大臣管理課区間]，2012.
- 6) 国土技術政策総合研究所河川研究部：洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)，pp.15-17，2015.
- 7) 国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所：北上川浸水シミュレーション検討資料，2022
- 8) 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，Vol.78，No.6，II_509-II_521，2022.
- 9) 国土交通省 website：流域治水関連法，2021.

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

ON THE EFFECT OF DISTRIBUTED RETARDING BASINS USING AREAS CLOSED BY EMBANKMENT IN A VALLEY BOTTOM PLAIN

Tadaharu ISHIKAWA and Shinsuke NAMOTO

Continuous embankment in the upstream valley plain generating many "closed floodplains" makes the natural retarding basin function of the floodplain decline. In this study, we investigated the characteristics of the closed floodplain in the Kitakami River, which has a long valley bottom plain of 85 km, and proposed a method of using them as a series of retarding basins that functions only for excessive floods. Numerical flow simulations were conducted to estimate the performance of retarding basins under the condition that the design flood of 150 years in return period attacks the river reach which is constructed to the level of 90 years in return period. The result showed the possibility that the flood peak discharge can be reduced by nearly 2-6 % by several a closed floodplain with a section length of about 5 km.