

# 谷底平野における洪水からの逃げ遅れを防ぐ施設設計の提案

武内慶了・福島雅紀・諏訪義雄・天野邦彦

## 1. はじめに

近年、北海道や岩手県、福岡県等の中山間地域において現況の河川の整備水準を大きく上回る洪水が発生し、地域社会に人的被害を伴う甚大な被害をもたらしている。中山間地域は下流の扇状地に比較し河川の整備水準が低い傾向にあり、さらには人口減少や高齢化の影響により地域防災力が低下し、洪水等の自然災害に対して脆弱な地域である<sup>1)</sup>。この様な特性をもつ中山間地域に対し、1)水害リスク情報等を地域と共有し、命を守るための確実な避難の実現、2)既存ストックを活用した治水対策の推進、3)逃げ遅れによる人的被害をなくし、地域社会機能の継続性確保、がなされることの重要性が指摘されている<sup>1)</sup>。本稿では、中山間地域を対象に、前述のように指摘された重要性の1つである「逃げ遅れによる人的被害の防止」を目的とし、既存施設を活かした改修等を通して、減災効果を発揮するハード対策について検討する。具体的には、中山間地域に古くから数多く存在する霞堤及び、その背後の谷底平野部を対象として、逃げ遅れを防ぐために有効な施設設計について、水理計算を通して考察する。

## 2. 避難行動の特徴及び地域特性を踏まえた被害軽減策

### 2.1 逃げ遅れによる人的被害軽減のための視点

浸水発生前に、市町村長による適切な避難勧告等に基づいて、安全な環境下での避難行動が確実に行われれば、人的被害軽減が可能となる。しかし、目の前の浸水の様な変状の確認をもって初めて危機的状況を認識し、避難を開始する住民が多いという実態がある<sup>(例えば2),3)</sup>。

さらに、中山間地域の谷底平野を流下する河川は、下流の沖積河川に比べ、降雨開始からの洪水到達時間が短く、水位上昇速度が大きい。そのため、中山間地域ではそもそも時間的余裕をもった

避難が難しい場合もある。

これらのことから、逃げ遅れによる人的被害軽減のためには、変状の確認をもって避難を開始する人が多いという住民の行動特性を現実として踏まえ、危機的状況の認知が容易であること、また、目の前の危機的状況を認知した後であっても、切迫的な避難に必要な時間を一定程度確保できる施設を設置することが有効であると考えられる。

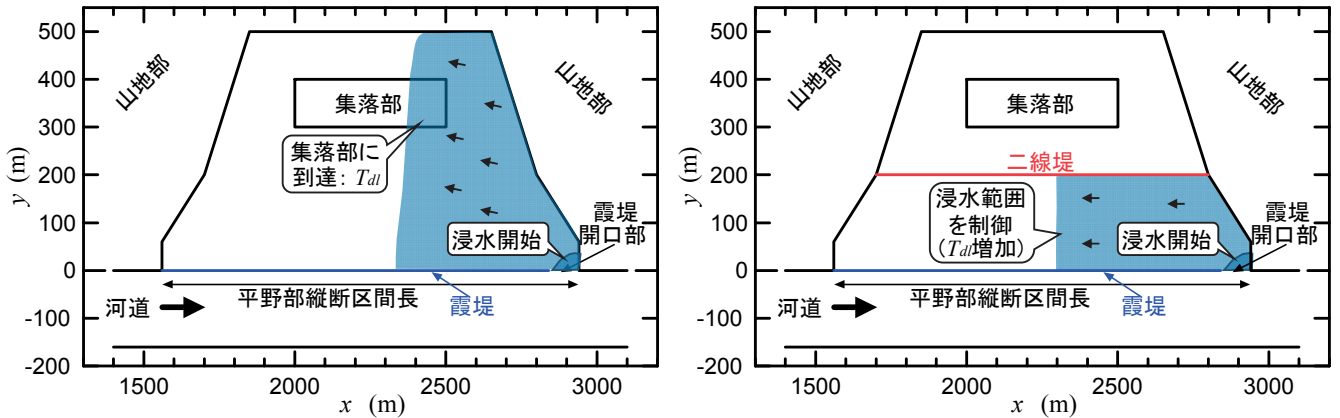
### 2.2 中山間地域に見られる霞堤の特徴

中山間地域には、古くから霞堤が数多く存在する。霞堤が設置された谷底平野部は、農地をはじめ一部住居として利用されていることが多い。霞堤は下流に対する洪水調節機能が広く認識されているが<sup>4)</sup>、急流河川においては、氾濫水を速やかに河道へ排水することによる当該地域の被害軽減効果も指摘されている<sup>5),6)</sup>。

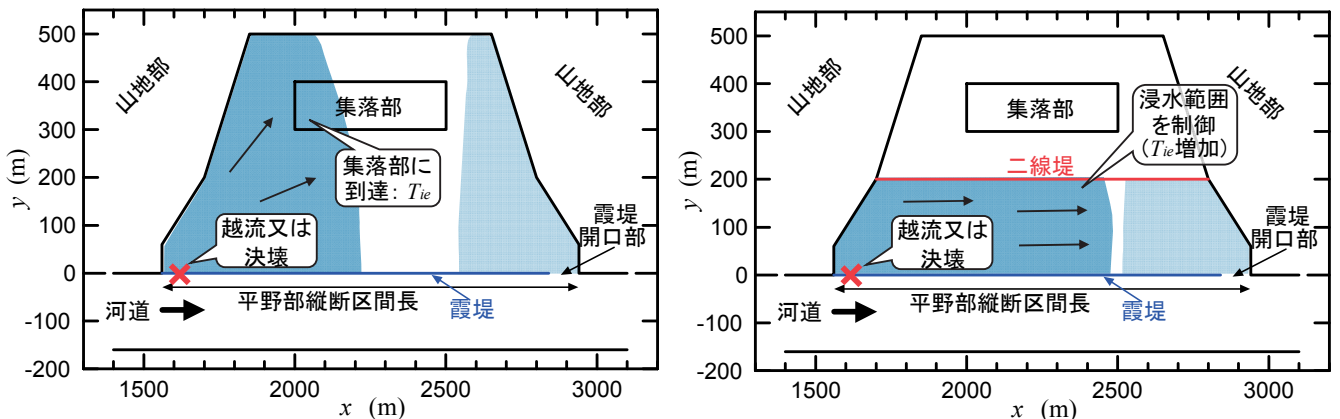
霞堤を洪水からの避難の観点から見ると、洪水時には霞堤開口部からの浸水が比較的ゆっくりと進行するため、この浸水の認知が避難につながる利点を有すると考えられる。しかし、連続堤に比べ浸水頻度が高くなるため、改修時等に地域からの要望を受け、開口部が閉鎖され、上記の利点が失われることがある。

### 2.3 “逃げ遅れを防ぐ環境”の創出の試み

前述の2.1～2.2を踏まえ、集落部の浸水頻度を低下させつつ、避難に対する霞堤の利点をより活かす方策について検討する。本稿では、危機的状況が発生してから、家屋付近の浸水により水平方向の避難が困難となるまでの時間（以下「リードタイム」という。）に着目する。霞堤が設置された谷底平野部では、2つの危機的状況が発生するタイミング及びそれらに対応したリードタイムがあると考えられる。2つのタイミングのうち、1つは霞堤開口部からの浸水の開始であり、浸水域が平野部上流方向にゆっくりと拡大していくため、リードタイム $T_{dl}$ は比較的長い（図-1上段左）。もう1つは堤防を越流し、場合によっては決壊することによる氾濫の開始であり、その流量は大きく平野部を流下するため、リードタイム $T_{ie}$ は非常



上段：霞堤開口部からの浸水及び浸水開始後の避難可能時間 $T_{dl}$ （左：霞堤のみ，右：霞堤と二線堤を組合せ）



下段：霞堤上流からの氾濫及び氾濫開始後の避難可能時間 $T_{ie}$ （左：霞堤のみ，右：霞堤と二線堤を組合せ）

図-1 着目した2つのリードタイムとその増大方策としての二線堤設置

に短くなる（図-1下段左）。また、下流側の霞堤開口部からの浸水に注意していても、避難が完了していなければ、上流側から氾濫水が流下し、たちまち避難が困難な状況に陥る場合もあるため、 $T_{ie}$ も重要な指標である（図-1下段左）。本稿での着眼点はこの2つのリードタイム $T_{dl}$ 及び $T_{ie}$ を、ハード対策によって長くするところにある。これを実現し得る方策として、既存の霞堤背後に二線堤を設置する方法（以下「本方式」という。）を想定した（図-1上,下段右）。二線堤設置により、平野部への浸水・氾濫という危機的状況を認知しやすい霞堤の特長を残しつつ、浸水・氾濫範囲を一定時間、二線堤～霞堤間に留めることにより $T_{dl}$ 及び $T_{ie}$ の増大が期待される。また、改修効果として、二線堤を越流するまでの洪水規模では氾濫範囲が限定される。

なお、霞堤開口部を閉じ連続堤とした場合、浸水の頻度が低減するとともに、流下能力以下の洪水であれば被害を防ぐことが可能となる。しかし、氾濫が生じるほどの大規模な洪水を想定した場合、 $T_{dl}$ がなくなるとともに、 $T_{ie}$ は従前とほぼ変わら

ないものと考えられる。従って、逃げ遅れによる人的被害を軽減する観点から見た場合、計画を超過する出水においては、連続堤化は必ずしも得策とは言い切れない。

### 3. 霞堤を有する谷底平野における氾濫計算

#### 3.1 決壊条件等の違いによるリードタイムの変化

本方式を採用した場合の、避難の観点からの有効性を確認するため、図-1に示す河道及び谷底平野部を想定した地形を対象に、河道と谷底平野部の一体的な平面2次元流況計算を実施した。谷底平野部及び河道部の縦断勾配は1/700とした。霞堤有堤部堤防高は平野部地盤高から2.5mとした。二線堤を設置する場合、その天端高は霞堤有堤部と等しくした。流量を単調増加させ河道上流端に与えて計算を行い、 $T_{dl}$ 及び $T_{ie}$ を算定した。霞堤開口部の縦断幅は100mとした。河川水位上昇時の霞堤有堤部からの氾濫を考慮するため、幅100mの決壊を伴う氾濫を開始する水位を霞堤天端高-1.0m～天端高の間で5ケース、これに加え氾濫が越流のみによる1ケースを設定した。なお、

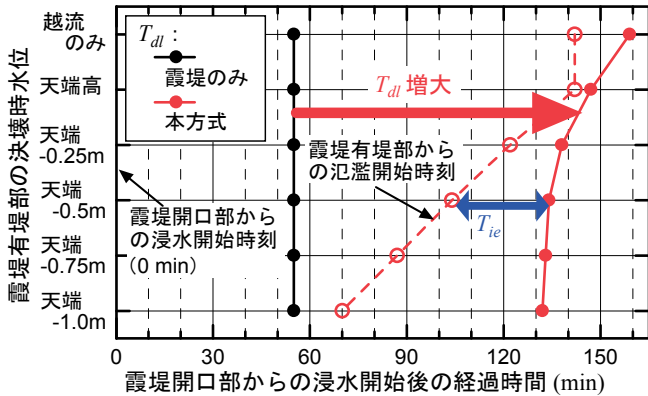


図-2 2つのリードタイムの変化例

これ以降に示す計算結果及び計算条件の詳細については参考文献<sup>7)</sup>を参照されたい。

着目した2つのリードタイムの増大効果の一例を図-2に示す。震堤のみの場合、開口部からの浸水域が拡大し、有堤部からの氾濫開始前に集落部に到達し、避難が困難な状況に至った。これに対し、二線堤を設置した本方式では、 $T_{dl}$ が大幅に増加していることがわかる。また、有堤部からの氾濫が生じた後であっても、避難可能時間が一定程度確保されている(図中 $T_{ie}$ )。

### 3.2 減災効果と地形スケール

本方式において、震堤有堤部からの氾濫開始後の避難可能時間 $T_{ie}$ は、連続式に基づく式(1)によって概ね説明できることが指摘されている<sup>7)</sup>。

$$T_{ie} \cong \frac{\Delta h \cdot L \cdot B}{Q_{in} - Q_{out}} + \Delta T_{ie} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $\Delta h$ :有堤部からの氾濫開始時における震堤開口部からの浸水位と二線堤高との差、 $L$ :谷底平野部の縦断区間長、 $B$ :震堤・二線堤間の氾濫域の横断方向幅、 $Q_{in}, Q_{out}$ :有堤部からの氾濫流量、震堤開口部から河道への戻り流量(時間平均値)、 $\Delta T_{ie}$ :有堤部からの氾濫流が震堤開口部からの浸水範囲に到達するまでの時間である。式(1)より、大きな地形スケールでは縦断方向に $L$ や $\Delta T_{ie}$ 、横断方向に $B$ の増大が見込まれ、 $T_{ie}$ が長くなる。このことは、本方式は適用する地形スケールによってその効果に変化することを示している。

### 3.3 氾濫の起こり方から見た期待される効果

式(1)より、氾濫流が河道へ戻る流量 $Q_{out}$ が大きいほど $T_{ie}$ が長くなる。震堤開口部を残すことにより $Q_{out}$ が確保され、 $T_{ie}$ を延ばす役割を持つことがわかる。

震堤有堤部からの氾濫後、二線堤～震堤間の氾

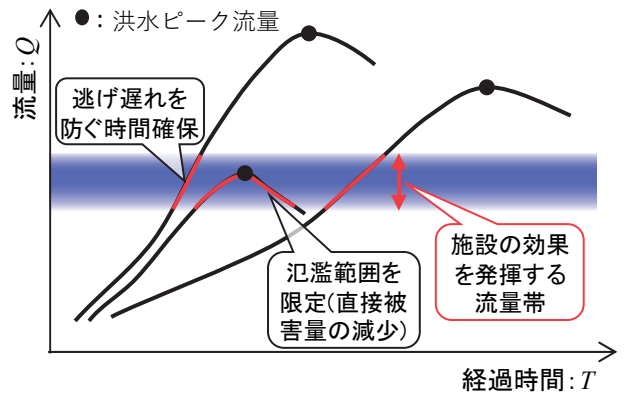


図-3 幅広い超過外力規模での効果が期待される施設設計のイメージ

濫域における水位縦断形は、上流側では地盤の縦断勾配に近く、下流側では河道内水位の影響により水平に近い状態を保ちながら、洪水流量の増加に伴い上昇していくことが確認されている<sup>7)</sup>。つまり、氾濫域では下流ほど水深が大きく、浸水位が最初に二線堤高に到達するのは二線堤下流端付近となる。このため、二線堤背後の集落部での浸水範囲は、下流側から上流方向に拡大する挙動に転じ、浸水位上昇速度が低減される可能性が高い。従って、極めて切迫した状況においても逃げ切れる環境の創出が期待される。

## 4. 逃げ遅れを防ぐための施設設計

上記の検討を踏まえ、逃げ遅れによる人的被害低減のための施設設計のポイントを示す。

### 4.1 対象地域の条件に見合う施設設計の検討

3.2で示したように、地形スケール等の条件によらず、一般性の高い施設を具体的に見出すことは難しい。そのため、対象とする地域のスケールや平面的形状、土地利用分布、活用可能な既存施設等の条件に見合うハード対策の検討及び技術的知見の蓄積、共有が必要である。

### 4.2 幅広い超過外力規模で被害軽減効果を発揮

本方式において、震堤開口部からの浸水があるものの、二線堤を越えないピーク水位となる洪水においては、避難に必要な時間確保の効果に加え、氾濫範囲が二線堤～震堤間に限定されることにより直接被害が軽減される効果が期待される(図-3)。一方、二線堤を越える水位が生じる洪水であっても、水位上昇過程において避難に必要な時間が一定程度確保される(図-3)。つまり、いかなる洪水規模においても、切迫的な避難を可能

とする環境が創出されることが期待できる。このように、幅広い超過外力規模での効果発揮が期待される施設設計を行うことは、重要なポイントの一つであると言えよう。

#### 4.3 大規模洪水でも有効な避難路の確保

切迫的な避難の開始後、逃げ切れるかどうかは、ピークの浸水位と避難先の高さによって決まる。洪水外力の不確実性ゆえ、より高い場所への避難を想定することが必要である。今回想定した切迫的な避難では、上・下流方向への水平移動が困難と想定されるため、背後の山腹に連続的に標高が高くなる避難路を設け、浸水位の増加に対応する形でより高いエリアへ移動できるような工夫が必要である(図-4)。但し、降雨による山腹からの流出や土砂災害等による避難後の二次災害を回避するよう、避難路設置箇所には留意が必要である。

#### 4.4 ソフト対策を組み合わせ、危機的状況の発生をより確実に報せる

本方式において、二線堤の高さ等によっては、二線堤・霞堤間の平野部での浸水を、集落部から確認し難くなる可能性もある。このような場合、例えば新たな水位周知方策として、当該平野部の浸水を報せるソフト対策を組み合わせる等、逃げ遅れによる人的被害の更なる軽減に向けた対策が有効である。

#### 4.5 日常生活への配慮

二線堤を山に接続させる施設設計とした場合、危機的状況において効果を発揮する一方、山からの沢水の排水性低下の他、景観阻害や移動を困難にする可能性がある等、日常生活に影響が生じる場合がある。このような影響が少なくなるよう必要に応じて対策を組み合わせる必要がある。

### 5. まとめ

中山間地域谷底平野部において、洪水からの逃

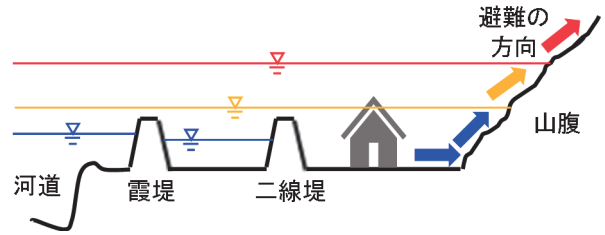


図-4 あらゆる水位に対応した連続的な避難路

げ遅れを防ぐことを目的とした施設設計について考察した。本方式を適用することで、既存施設の利点を残しつつ、集落部の浸水頻度を低減させるとともに、実態としての避難行動特性や中山間地域の洪水流下特性の下で、切迫的な状況においても“避難が可能となる時間を延ばす”ことが可能となる。逃げ遅れを防ぐ本方式による施設設計は、改修の際の重要な選択肢となる。

社会実装に向けた今後の課題として、対象とする場の状況(形状、スケール、土地利用状況、既存施設)と洪水流下や氾濫の特性との関係を踏まえた、より効果の大きい施設設計の具体的方法の模索と提案が挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会:中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について(答申)、2017
- 2) 諸岡良優、郷津勝之、寺井しおり、布村明彦、山田正、五十嵐拓実、安田浩保:2015年9月関東・東北豪雨における鬼怒川洪水時の避難情報及び浸水状況が住民の避難行動へ及ぼした影響に関する研究、河川技術論文集、第23巻、pp.127~132、2017
- 3) 命を守る水害読本編集委員会:命を守る水害読本、毎日新聞出版、pp.124~126、2017
- 4) 吉川秀夫:河川工学、朝倉書店、pp.190~191、1966
- 5) 安芸皎一:河川工学、共立出版、pp.94~95、1952
- 6) 鈴木淳史、福島雅紀、山本陽子、諏訪義雄:被災が頻発した中小河川における河川護岸の事例調査について(報告)、河川技術論文集、第23巻、pp.151-154、2017
- 7) 武内慶了、福島雅紀、諏訪義雄、天野邦彦:中山間地域谷底平野における避難時間確保を目指す減災システムに関する考察、水工学論文集、第62巻(投稿中)

武内慶了



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室主任研究官  
Yoshinori TAKEUCHI

福島雅紀



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室主任研究官、博(工)  
Dr. Masaki FUKUSHIMA

諏訪義雄



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長  
Yoshio SUWA

天野邦彦



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部長、博(工)  
Dr. Kunihiko AMANO