経験的な危険箇所を利用した避難判断基準 の設定

佐々木 昌俊¹・田中 耕司²・花房 大輔³・北村 祐二⁴

¹非会員 (株)建設技術研究所大阪本社 水システム部 (〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7)
E-mail:m-sasaki@ctie.co.jp

²正会員 (株)建設技術研究所大阪本社 水システム部 (〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7)
E-mail:kj-tanak@ctie.co.jp

³正会員 滋賀県南部土木事務所 道路計画課 (〒525-8525 滋賀県草津市草津3丁目14-75)
E-mail:hanafusa-daisuke@pref.shiga.lg.jp

⁴正会員 滋賀県土木交通部流域対策局 (〒520-8577 滋賀県大津市京町4丁目1番1号)
E-mail: kitamura-yuji-b@pref.shiga.lg.jp

洪水時における行政が住民に避難行動を促すための避難勧告や指示の発令基準は、河川水位によるものが多い。しかしながら、現状では河川水位だけで行政側から住民へ勧告・指示をしても逃げないケース、あるいは発令が遅く避難ができないケースが見受けられ、必ずしもこの設定方法が妥当であるという評価はできない。そこで、既に調査済みである河川沿いの経験的な危険箇所を水位観測所の情報の関連性を用いて、内外水を同時に把握することができる平面二次元氾濫解析を実施し、氾濫特性から地区毎の避難の優先順位と避難判断発令時の情報内容について検討した。

Key Words : criteria of evacuation caution and warning, flood flow analysis, evacuation judgment criteria

1. はじめに

近年、直轄河川のみならず都道府県が管理する河川(指定河川)においても洪水予報河川、水位情報周知河川に指定し、氾濫の恐れのある流域住民への避難勧告・指示の発令や水防警報を目的に基準水位(避難判断水位、氾濫危険水位)が設定されている。特に設定されている指定河川は、比較的大きな流域である場合が多い。一方で、流域面積が小さく、洪水到達時間が短い中小河川の水位を監視しても、避難判断や行動に必要な時間的余裕がとれないばかりなく、堤内地の資産から状況も踏まえると、水位観測所の設置や基準水位が設定されていないケースが多い。

洪水発生に伴う氾濫に対する「備え」として、行政による防災教育を通じた意識啓発の活動が実施され、これらの活動は災害に対する備えに関する住民の意識向上につながっているものと考えられる。一方で、避難勧告等は、行政が住民に対して発令するものであり、受け手の住民はこの発令によって避難行動を開始することが前提となっている。逆に発令しないと避難しないという、行

政の指示に依存するという指摘¹⁾もある。さらに、中小河川(群)では、避難判断基準が設定されていないために、避難勧告等の発令ができない、さらには住民の自主的な避難に頼ることになるという、防災上の課題がある。このような課題に対して、内閣府等が公表した「大雨災害における避難のあり方等検討会報告書」²⁾では、自らの命を守るための行動や危険な状況下での避難回避といった事項を避難の基本的な考え方とし、地方自治体に対して地域特性に応じた早期避難、屋外避難の回避、垂直避難といった選択もあることが提示されている。

本研究では、滋賀県長浜市および米原市を流れる姉川・高時川とその堤内地に内水および外水氾濫の両方を考慮できる水理モデルを適用し、氾濫域における避難判断基準を検討した。この基準の設定に際し、想定した破堤時点までの避難勧告等の発令時におけるきめ細かい情報を付加する場合の地区の選定と個々の情報種別について検討を行った。この設定した基準に対して、地方自治体の担当者が実際に避難勧告等の発令判断を行うまでのシミュレーションを行い、設定した基準の課題について整理した。

2. 対象流域の概要

本研究で対象にした流域は、滋賀県長浜市・米原市を流れる姉川・高時川および田川の河川流域とこれらの堤内地である。いずれの河川も河床掘削、築堤により治水対策が暫定的に実施され、治水安全度が概ね1/20程度確保されている。

3. 危険箇所の選定と水理特性と防災上の意義

(1) 危険箇所の把握

一級河川姉川・高時川は水防法に基づく洪水予報河川に指定されており、洪水予報を行う基準地点として5箇所の水位観測所が設定されている。洪水予報は一連区間のネック箇所を対象に川全体として発表されているが、ネック箇所以外においては安全側の設定となっており、市町へのアンケートを実施し、現場の実情と乖離する問題が明らかとなった。また、洪水時に各市町や沿川自治会が巡回する箇所が、昔から経験的に把握している箇所（以下、経験的危険箇所）であることも明らかになった。

上記を踏まえ、姉川・高時川における「きめ細かい河川防災情報」³⁾を配信し、周知するための施策の一つとして、避難勧告の発令判断支援（発令タイミング・発令エリア）の検討を行った。

(2) 危険箇所を利用した防災情報の充実

市町が発令する避難勧告の発令の判断を支援するため、川の中の防災情報の充実化を図った。具体的には、姉川・高時川で選定した15か所を対象に、現場の水位状況を近傍テレメータ水位から推定できるように、地元の把握する経験的危険箇所（図-1 参照）と上流の水位観測所との水位を関連付けた「水位関係表」を地点毎に作成し、併せて水位関係表に合わせた「簡易量水標」の設置および平常時の周辺住民への周知を目的とした「周知用看板」の設置も行った。これらの「簡易量水標」および「周知用看板」については、花房らの報告³⁾を参照されたい。

なお、水位の関連付けについては、準二次元不等流計算を実施し対象地点毎に水位流量の関係を設定した。さらに、水位観測所の基準水位に相当する流量から、対象地点の水位流量の関係から水位観測所の水位と関連性について整理した。

4. 氾濫特性

(1) 氾濫解析の概要

図-1 経験的な危険箇所の位置図

本研究では、瀧ら⁴⁾の統合水理モデルを適用し、氾濫原の浸水深や流速といった水理諸量を算定した。当モデルは、流出域、中小河川・水路網の氾濫流といった一連の水理現象を総合的に解析できる数値計算モデルである。流出域においては、合成合理式による流出解析モデルから流出量を求め、時間遅れを考慮して河道上流端に与えた。河道域の流れの解析には、現況河道縦横断面データが存在する区間を対象に、一次元不定流解析モデルを適用している⁵⁾。さらに、氾濫流については、平面二次元氾濫解析モデルを適用している⁶⁾。

さらに、堤内地の水路・小河川の氾濫、土壌の浸透、下水の排水能力を考慮し、内水氾濫解析も同時に行っている。氾濫解析、氾濫モデルの詳細な計算条件は、表-1の通りであり、瀧ら⁵⁾が設定した計算条件と基本的に同じである。なお、本研究では、超過確率100年の中央集中型の降雨波形でのシナリオを想定して、氾濫解析を実施した。この理由として、立ち上がりの急な波形から氾濫を捉えることから避難行動の検討に際し危険側の評価になり、実績の洪水にも耐えうる結果を導けると想定している。

(2) 氾濫特性の把握

本研究では、姉川高時川の破堤・越水氾濫に加えて、堤内地のや内水氾濫も考慮した解析を実施した。花房ら³⁾は、外水のみを対象にした氾濫解析から、避難判断基準を作成した。この結果では、堤内地で発生する内水氾濫による危険性を把握することができないという課題がある。

表-1 氾濫モデルの設定

項 目	内容または解析条件
河道設定	姉川・高時川を河道として設定。
河道断面測量年度	LPデータ ・「H18滋賀県内主要河川の航空レーザー測量成果、近畿地方整備局」 ・「H15琵琶湖沿岸の航空レーザー測量成果、琵琶湖河川事務所」 既往測量図面を基本とした河道断面
粗度係数	原則として0.030
出発水位	等流水深
氾濫解析手法	・河道：一次元不定流 ・氾濫原：二次元不定流
氾濫原のメッシュ	50mメッシュ
氾濫原の地盤高	LPデータおよび数値地図のメッシュ内の平均値 ・「H18滋賀県内主要河川の航空レーザー測量成果、近畿地方整備局」 ・「H15琵琶湖沿岸の航空レーザー測量成果、琵琶湖河川事務所」 ・「数値地図50mメッシュ標高、国土地理院」
氾濫原の地目面積	国土数値情報土地利用区分（100mメッシュ）・面積（1kmメッシュ）を使用して算出
建物占有率	土数値情報土地利用メッシュを使用して算出
支川の考慮	支川を考慮する
水路	下水道計画で明示されている水路を考慮する
圃場	圃場計画で明示されている圃場を考慮する
排水施設	「淡海よ永遠に 琵琶湖開発事業誌 第 編より」を参照して設定。

そこで、氾濫解析結果を下に、対象氾濫原における地形的な条件からブロック分割した範囲での氾濫特性を整理したものを図-3に示すとともに、氾濫時の状況を以下のように把握した。

- ・ブロック ①では、背後地の無堤地区に貯留される。
- ・ブロック ②では、氾濫流は、高時川に沿って流下する。また、高時川左岸堤防や山田川堤防に囲まれるため、水田では氾濫水が貯留されやすい。
- ・ブロック ③では、氾濫流は、湖岸に向けて拡散しながら流下する。さらに、高時川右岸堤防や姉川右岸堤防及び湖周道路に囲まれた水田に貯留される。
- ・ブロック ④では、氾濫流は、拡散しながら姉川と高時川合流点付近へ流下する。さらに、姉川と高時川の堤防に囲まれるところで貯留される。特に JR 北陸本線より西側は地盤高が低く、地形勾配が緩いため、貯留されやすい。
- ・ブロック ⑤では、氾濫流は、市街地に向けて拡散して流下する。また、姉川左岸堤防と湖周道路により囲まれるため、水田では氾濫流が貯留されやすい。
- ・ブロック ⑥では、氾濫流は、川に沿って流下する。また、姉川と草野川の堤防に囲まれる所に貯留される。
- ・ブロック ⑦では、氾濫流は、川に沿って流下し、姉川と丘陵部に囲まれる所で貯留される。

5. 避難勧告等の発令基準の設定

(1) 避難判断の考え方

洪水時には、姉川・高時川等からの外水氾濫に先立って、水路等からの内水氾濫が生じる地区が発生する可能性が高いことから、地区毎に内水氾濫の影響や氾濫の時

図-2 氾濫原の内外水氾濫流の特性

- 間的変化も考慮した氾濫特性を把握した上で、自宅2階への垂直避難も念頭に置いた避難判断基準を検討した。本検討を行うにあたっての基本的考え方を以下に示す。
- ・避難準備情報は、県が発令する氾濫注意情報（氾濫注意水位を超過）を受けて発令することを前提とする。
 - ・避難行動は避難所への移動を前提とした「立退き避難」を基本とする。
 - ・大雨災害時には建物の二階以上に避難するような「一時避難」が許容できることから、同災害時には「立退き避難」のみならず、「一時避難」も含めた複数の選択肢を用意しておくことが、人的被害を軽減する上で重要である。
 - ・氾濫による人的被害リスクが高い地区と低い地区を整理した上で、リスクが高い地区については「立退き避難」を前提とした基準水位等の避難判断基準とする。リスクが低い地区については「一時避難」の可能性も念頭に置いた基準とする。
 - ・避難判断指標としては、姉川・高時川を対象にして発令される「洪水予報（氾濫警戒情報）」を基本とするが、発令時に想定される堤内地の歩行困難区域も勘案し、別途基準が必要な地区については、その指標について検討する。
 - ・検討対象とする地区単位については、小学校区を基本とし、河川によって分断される場合や学区内において氾濫特性が異なる場合は必要に応じて分割する。

上記の設定における基本的な考えの下で、以下の ～ に事項に従い、避難勧告等発令基準の検討を行った。

人的被害リスク評価

氾濫計算結果から浸水深、流速から、人的被害リスク指標(家屋水没、床上浸水、家屋流出)に基づき評価した。歩行困難区域の把握

氾濫警戒情報が発令される時点（避難勧告の発令目安）から氾濫危険情報が発令される時点（住民の避難完了目安）における時系列の氾濫解析結果より、外水氾濫前における立退き避難行動に影響を与える「歩行困難区域」を抽出した。

地区別避難判断基準(案)の設定

上記検討結果を踏まえ、地区別の避難判断基準および避難行動手法（立退き避難、一時避難）を設定した。

(2) 人的被害リスク区域の把握

人的被害の発生エリアは、避難を最優先に判断可能性のある地区である。これらの地区を抽出するにあたり、以下の指標を用いた。

氾濫流による人的被害リスクの評価指標⁷⁾として、「家屋水没」⁸⁾、「床上浸水」および「家屋流出」⁹⁾が挙げられる。評価指標の判定に使用する閾値については、以下のように設定を行った。

表-2 被害指標の設定

被害指標	内 容	閾 値
家屋水没	家屋の軒下程度まで浸水する状態	浸水深：3.0m以上
床上浸水	家屋の一階床上まで浸水する状態	浸水深：0.5m以上
家屋流出	氾濫流により家屋ごと流され倒壊する状態	流体力：25m ³ /s ² 以上

氾濫解析結果から、人的被害（家屋水没、床上浸水、家屋流出）を受ける可能性が高い小学校区および人的被害有無を抽出すると図-3および図-4の通りである。図-3は浸水深が3.0m以上となる地区、図-4は流体力が25m³/s²以上となる地区を示している。これらの地区は、立ち退き避難を前提とした基準とした。

(3) 歩行困難な区域の設定

氾濫警戒情報が発令される時点（避難勧告の発令目

安）から氾濫危険情報が発令される時点（住民の避難完了目安）における時系列の氾濫解析結果より、外水氾濫前における立退き避難行動に影響を与える「歩行困難区域」を抽出した。

外水氾濫前における立退き避難行動に影響を与える「歩行困難区域」として、須賀¹⁰⁾による水深・身長比と流速の関係から見た水中での歩行可能領域を用いるものとした。

また、設定する身長としては、文部科学省の年齢別体格測定結果（平成20年調査）を参考に、「成人男女の平均値である163cm」および「小学1年生男女の平均値である116cm」の2ケースを設定した。

さらに、立退き避難行動は、外水氾濫発生前に行うことが想定されるため、地方自治体の防災体制の手順に従い姉川・高時川における氾濫警戒情報の発令から氾濫危険情報の発令されるまでの時間（避難勧告の発令目安から住民の避難完了目安）で評価を行った。

氾濫シミュレーション結果によると、姉川において最初に氾濫警戒情報が発令されるのは難波橋水位観測所であり、計算開始後3時間50分後から9時間10分後までが評価対象期間となる。一方、高時川において最初に氾濫警戒情報が発令されるのは錦織橋水位観測所であり、計算開始後10時間10分後から11時間10分後までが評価対象期間となる。これらから、両者を包絡し、計算開始後3時間50分後から11時間10分後までを評価対象期間とした。氾濫解析結果から、姉川・高時川の各々において最初に氾濫警戒情報が発令されてから氾濫危険情報が発令されるまで（避難勧告の発令目安から住民の避難完了目安）の間に歩行避難が困難となる区域を抽出すると図-5となる。これによると、姉川・高時川本川からの外水氾濫前に生じる歩行困難区域は、成人男女のケースでは1学区において、小学1年生男女のケースでは2学区において歩行困難となる国道および県道が生じる。

図-3 浸水深3m以上となる区域

図-4 流体力25m³/s²以上となる区域

図-5 歩行困難度の評価対象範囲の設定

図-6 歩行困難の可能性が高い地域(小学生1年男女を想定)

また、歩行困難区域が田畑となっている地域においては、農道等を避難路として利用していることも考えられる。今後、地区別避難計画を検討していく上で、避難路の危険性を周知するために、氾濫解析を参考に「まるとまちごとハザードマップ」や「周知用看板」等といった方法で啓発していくことが必要と考えている。

(4) 地区別における避難判断基準

避難勧告発令の大きな括りとして「外水氾濫ブロック」を基本とした。ただし、避難勧告発令の地区単位としては小学校区を基本とし、ブロックを跨いで分断される場合や学区内において氾濫特性が異なる場合は必要に応じて分割した。この分割に基づき、避難勧告発令の一つの目安となる氾濫警戒情報の発令後における、避難勧告発令判断基準と避難勧告種別について地区別検討を行った。

さて、避難勧告の発令判断の指標としては、当該エリアの属する氾濫ブロックに影響を及ぼす河川における「氾濫警戒情報」を基本として設定したが、次に示すケース～においては例外として設定した。

洪水予報河川および水位周知河川に指定されていないが洪水氾濫による影響が大きい。さらに、水位観測所を有している田川ならびに草野川の想定氾濫エリアについて、「各々の水位観測所での氾濫注意水位を超過し、更なる上昇が予想されるとき」を避難勧告の発令判断基準として設定した。

河川氾濫前において、水路からの氾濫等により歩行による避難が困難と想定され、かつ洪水氾濫による人的被害が想定されるエリアについては、早期の避難行動を促す必要があることから、「氾濫警戒情報」の前段階の判断基準として、「氾濫注意情報」を設定した。図-7に示す虎姫小学校区については、姉川・高時川氾濫前に田川からの氾濫が発生し、一部集落に床上浸水が生じる可能性が高いことから、「氾濫警戒情報」の前段階の判断基準として、「氾濫注意情報」を設定した。

一方で、避難勧告を発令する際に、その逼迫度に重み付けをして住民に伝わるようにするため、地先の危険度の程度に応じた付加情報を以下の考えで設定した。

- ・当該エリアにおいて、洪水氾濫による家屋水没あるいは家屋流出の危険性の高い区域が生じ、かつその区域が集落内に及ぶと想定される場合には、避難勧告発令の際の付加情報として、「避難指示情報」を設定した。なお、「避難指示情報」の例として、「2階以上の浸水の恐れがある区域が集落全域に及び、かつ木造流出の可能性があるので、早急に近傍の安全な避難所へ避難して下さい」といった趣旨の内容である。
- ・洪水氾濫による床上浸水の危険性の高い区域が生じ、かつその区域が集落内に及ぶと想定される場合には、避難勧告発令の際の付加情報として「避難促進情報」を設定した。なお、「避難促進情報」の例として、「床上浸水の恐れがある区域が集落の一部に及び可能

図-7 避難勧告発令時の地区別の付加情報の設定例

性があるので、近傍の安全な避難所への避難準備を始めて下さい。」といった趣旨の内容である。

- ・洪水氾濫により人的被害をもたらすエリアが生じると想定されるも、その区域が集落内に及ばないと想定される場合には、避難勧告発令の際の付加情報として「注意喚起情報」を設定した。なお、「注意喚起情報」の例として、「屋外での活動を控えて下さい。また、集落内要援護者の方の在宅状況を確認して下さい。」といった趣旨の内容である。

以上の避難勧告等の発令基準に付加する情報を各地区に設定した。滋賀県・気象台の洪水予報に基づく氾濫注意情報や氾濫警戒情報が発令された時点で、避難勧告と付加的な情報の種別の発令対象地区を図-7に示す。これらは、一例であるが、姉川あるいは高時川で氾濫警戒情報の発令段階では、河川沿い、内水・外水の氾濫で貯留されやすい地区は、破堤により2階以上の浸水が発生するため、早急に安全な避難場所へ避難することを伝える地区である。一方、河川から離れるほど、促進情報、注意喚起で床上浸水、避難時注意喚起を付加する地区であることがわかる。

6. おわりに

本検討では、氾濫解析に基づく、避難勧告等の発令基準と堤内地の危険の逼迫度に応じた付加すべき情報について検討した。その結果、内水も含めた氾濫現象を捉える場合、氾濫注意情報・氾濫危険情報の上位機関の発令による地区毎の優先順位、その逼迫度に応じた発令が可能であり、これにより避難所の開設、要援護者の避難支援などの多くの業務を整理することが可能である。

今後、今回設定した基準に対して、図上訓練での確認、地区別避難計画の作成など、地区に根付いた防災体制について検討していくことが必要である。また、人命被害が発生しないために、実効性ある避難行動につなげていくこと取り組みを推進してい予定である。

参考文献

- 1) 矢守克也：災害情報のダブルバンド，災害情報，No.7，pp.28-33，2009.
- 2) 大雨災害における避難のあり方等検討会：大雨災害における避難のあり方等検討会報告書，内閣府・総務省・厚生労働省・国土交通省・気象庁，2010.
- 3) 花房大輔，橋本将明，佐々木昌俊，田中耕司，西居直史，中島敏雄，饗庭啓良：避難勧告・指示に資するきめ細かい河川情報に関する研究，安全問題研究論文集，Vol.5，pp.211-216，2010.
- 4) 瀧健太郎，松田哲裕，鵜飼絵美，藤井悟，景山健彦，江頭進治：中小河川群の氾濫域における超過洪水を考慮した減災対策の評価方法に関する研究，河川技術論文集，第15巻，pp.49-54，2009.
- 5) 岩佐義郎，井上和也，水鳥雅文：氾濫水の水利の数値解析法，京都大学防災研究所年報，第23号，B-2，pp.305-317，1980.
- 6) 栗城稔，末次忠司，海野仁，田中義人，小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル（案），土木研究所資料，第340号，1996.
- 7) 瀧健太郎，松田哲裕，鵜飼絵美，小笠原豊，西島照毅，中谷恵剛：中小河川群の氾濫域における減災型治水システムの設計，河川技術論文集，第16巻，pp.477-482，2010.
- 8) 河田恵昭，中川一：三隅川の洪水災害 - 洪水氾濫と家屋の被害 - ，京都大学防災研究所年報，第27号B-2，1984.
- 9) 佐藤智，今村文彦，首藤伸夫：洪水氾濫の数値解析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，第33巻，pp.331-336，1989.
- 10) 利根川研究会（須賀堯三監修）：利根川の洪水，1995.

(2011.7.22 受付)

EVACUATION JUDGMENT CRITERIA OF DISTRICT IN FLOODPLAIN WITH EMPIRICAL KNOWLEDGE

Masatoshi SASAKI, Kohji TANAKA, Daisuke HANAFUSA and Yuji KITAMURA

In this study, we focus on the gap of knowledge of river information between local government and resident, and think that water level is more effective and useful as evacuation information. Up to now, resident judges from empirical knowledge and evacuates. We study the relation of observed water level with this knowledge, so this result is effective evacuation information. Moreover, we analyze flood flow in flood-plain, and could obtain priority of evacuation district.