

施設能力を上回る洪水においても人的被害を出さないための施策検討手法の開発

DEVELOPMENT OF A METHOD TO INVESTIGATE MEASURES TO PREVENT CASUALTY DAMAGE BY FLOODS EXCEEDING CONTROL FACILITIES CAPACITY

柳川 一博¹・山本 陽子²・諏訪 義雄³・天方 匡純⁴

Kazuhiro YANAGAWA, Yoko YAMAMOTO, Yoshio SUWA, Masazumi AMAKATA,

¹非会員 元国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室

(関東地方整備局 河川部 水災害予報センター(〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2番地1))

^{2・3}正会員 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁴正会員 博(工) 八千代エンジニアリング株式会社 技術開発部(〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)

In this study, we combined the regional map of the location and floor number of the buildings, with the map of the flood depth distribution under the largest flood expected. This combination map was used to analyze factors which would hinder evacuation of the residents and the distribution of the population who would have difficulty evacuating at the time of the disaster because of those factors. From the results, the methods to examine different human damage measures were developed and verified for two regions with different geographical conditions, where there were many residential buildings with difficulty evacuating in a vertical direction and the shortage of public shelters.

Key Words : *evacuation, the largest flood, human damage, shelters*

1. はじめに

財政制約の下、多くの地域で河川の整備水準がまだまだ低く、施設の能力を上回る洪水に対しては、河川の施設整備のみでは被害を防ぎきれないため、氾濫が生じた場合でも人的被害を出さないためには、被災可能性がある住民全てが、確実に避難ができる環境を確立することが必要である。すでに多くの自治体(市町村)が避難計画を策定しているが、コスト・労力等の計画検討における制約により、必ずしも全ての自治体で地域の地形や建物立地特性に踏み込んだ検討がなされているとは言いがたい。また一方で、地区内の避難所の収容人数の絶対的な不足や、内水氾濫による避難経路の途絶等、計画策定というソフト対策だけでは解決できない課題もある¹⁾。そのため確実に人的被害を防ぐためには、民間協定による避難所の確保や適切な避難勧告のタイミングといったソフト対策に加えて、新たな避難所の整備や避難経路確保のための内水排除施設の整備といったハード対策を組み合わせることが必要となる。

本研究では、市区町村自らが、できるだけ簡易な解析を使って、地域の中で人的被害が生じる恐れのある危険な地域の分布とその要因を把握した上で、住宅ごとの適切な避難所の割り当てとともに、避難所増設や内水排除等のハード施策の中から地域に適した施策の選定及び評価ができるような手法を開発することを目指した。

先行研究で加藤ら²⁾は、公的避難所が不足する都市部では民間ビルとの協定等により多くの住民が避難可能となる一方、3階建以上の建物が少ない郊外・農村部ではより避難先の確保が困難であるとしている。そこで本研究では、郊外・農村部の地域条件の異なる2地区を対象として試算を行い、手法の有効性の評価を行った。

2. 施策検討手法の概要

(1) 今回の試算における避難行動の基本的な考え方

本研究では、対象地区の人的被害を無くすための対策を洗い出すという観点から、以下のような仮定を行った。

本来、避難計画は、浸水範囲の住民は全て、域外または指定された避難所へ避難(以下、「立ち退き避難」)

することが前提である。これに対して、片田ら¹⁾は、都市部における大規模な避難が避難施設の収容能力超過、避難者渋滞の誘発等により犠牲者を増加させてしまう危険性を有し、高層階居住者に対しては自宅待機を優先させる等の避難需要の低減策が求められるとしている。

今回、郊外・農村部である対象2地区では、都市部と比較して避難者数こそ少ないものの、比例して学校等の公的避難所数が少なく、浸水によって避難所の低層階が使用できないため、やはり避難所の収容能力が圧倒的に不足することが判明した。そのため本研究では、想定最大規模の洪水時であっても浸水深が建物最上階の床面高さ以下となる建物の住民は、建物内の上層階に留まることで、より多くの要立ち退き避難者の避難を可能とする想定から試算を開始した。ただし後述の通り、建物倒壊の恐れがある堤防近傍の建物については要立ち退き避難とした。なお、本来は垂直避難が可能であっても孤立してしまう可能性がある建物については、立ち退き避難の検討も必要であるので、浸水継続時間の確認をすべきである。本研究では後述のB地区の試算で浸水継続時間を確認したが、長時間浸水する範囲に建物はなかった。

また、避難所まで遠距離の住宅が多いため、避難は自動車の使用が想定されるが、避難者全員が自家用車を使用すれば、避難所周辺の渋滞が危惧される。さらに対岸自治体への広域避難も推奨されているが、対岸に渡る橋が少ないため、自家用車で避難は渋滞が必至である。そのため、避難手段は自家用車を使用せず、徒歩を原則とし、広域避難は避難用バスの利用を想定した。

(2) 施策検討手法フロー

本研究で用いた施策検討手法フローを図-1に示す。

a) 浸水シナリオの設定

河川堤防の破堤による氾濫区域については、新たに必要となる解析等をできるだけ減らす観点から、河川管理者が作成する破堤地点別の想定最大規模の浸水想定区域図を使用した。しかし、破堤が生じるような洪水時は、降水量も多く、内水河川から水が溢れて、破堤が生じる前に各地が浸水していることが想定される。特に貯留型氾濫の地形や内水河川による被害が頻発する地域においては、必要に応じて、ポンドモデルの活用等、簡易な手法で構わないので、内水も考慮すべきである。本研究では後述のB地区の試算で内水を考慮している。

b) 建物位置・階数情報等の取得

ゼンリン社の建物ポイントデータにより浸水域内の建物の位置・階数・床面積の情報を取得することとした。建物ごとの居住者数は、国勢調査結果により得られる地域の人口を世帯数や建物床面積で案分して設定した。年齢区分別の人口データを使用することで、地域の特性を反映することもできる。

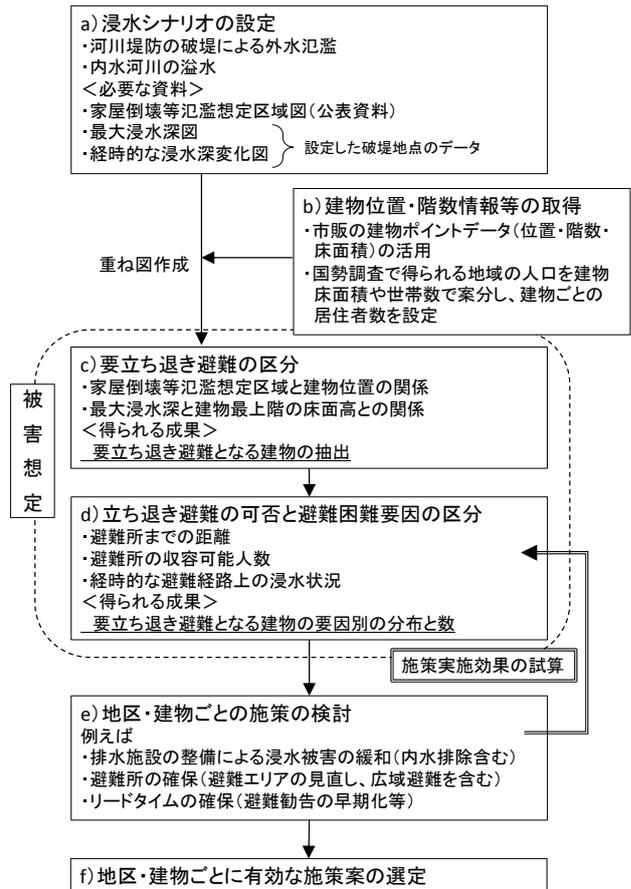


図-1 施策検討フロー

c) 要立ち退き避難の区分

浸水域内の建物ごとに①建物位置が家屋倒壊等氾濫想定区域内かどうか、②最大浸水深と建物最上階の床面高との関係の観点で要立ち退き避難かそうでないかを区分することとした。家屋倒壊等氾濫想定区域内の建物は近傍の堤防が破堤した際は、留まることで家屋倒壊の恐れもあるため、破堤点や最大浸水深によらず、要立ち退き避難対象とした。

建物ごとの最大浸水深と建物最上階の床面高との関係を確認するため、モデル地区において、想定最大規模の出水により河川堤防が破堤した際の最大浸水深図と破堤にともなう家屋倒壊等氾濫想定区域をゼンリン社の建物ポイントデータに基づく各居住建物の位置・階数情報に重ねた図を作成した。建物ポイントデータで得られた建物階数情報から「水害の被害指標分析の手引(H25試行版)」³⁾を参考に1階床下高を50cm、階高を2.7mとして、各建物の高さを設定し(図-2)、最大浸水深が建物最上階の床面高を上回る建物を要立ち退き避難の対象とした。また、各避難所についても①②の観点に照らし、最大浸水深と建物の床面高さの比較から使用できる階数を設定し、家屋倒壊等氾濫想定区域内の避難所については原則使用不可とした。

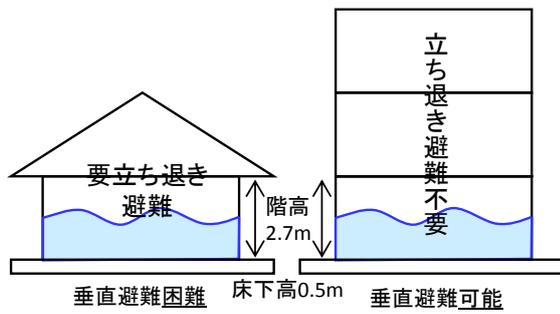


図-2 要立ち退き避難の区分イメージ

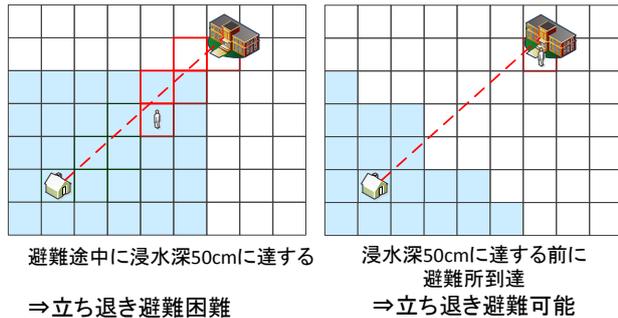


図-3 避難経路上の浸水による立ち退き避難可否の判定

d) 立ち退き避難の可否と避難困難要因の区分

避難勧告のタイミングは、各地区の実際の地域防災計画の想定を踏まえ、指定観測所の水位が基準に達した時点とし、勧告直後に避難行動が開始されるものとした。

本研究では、簡易に立ち退き避難困難者の分布を把握することを目的とするため、年齢別の移動速度の違いを考慮せず、須賀ら⁴⁾の水中歩行に関する実験結果を参考に12m/分と設定した。また原則、避難経路は避難所と建物を直線で結ぶ経路とした。建物ごとに最寄りの避難所を設定するため、避難所間を結んだ直線の垂直二等分線で分割し、各避難所に避難する建物のエリアを設定した。

歩行が困難となる浸水深については、「水害の被害指標分析の手引（H25試行版）」³⁾を参考に災害時要援護者以外の避難が困難となる水位である50cmと設定した。

避難所の収容可能人数については、自治体が作成する地域防災計画の人数を用いることを原則とするが、具体的な人数が整理されていない避難所については、避難者1人当たりの必要面積を1m²として設定した。

以上の試算条件により、要立ち退き避難と判定した建物を対象に、以下の①②のルールに照らし、立ち退き避難の可否と避難困難要因別に区分した。

- ①経時的に避難者の位置と避難所までの残りの避難経路上の浸水深を確認し、避難所に到達するまでに浸水深が50cm以上になる場合に立ち退き避難困難とした(図-3)。
- ②避難所に到達した時点で避難所の収容可能人数以上となっている場合は別の避難所に向かうことはせず、立ち退き避難困難とした。

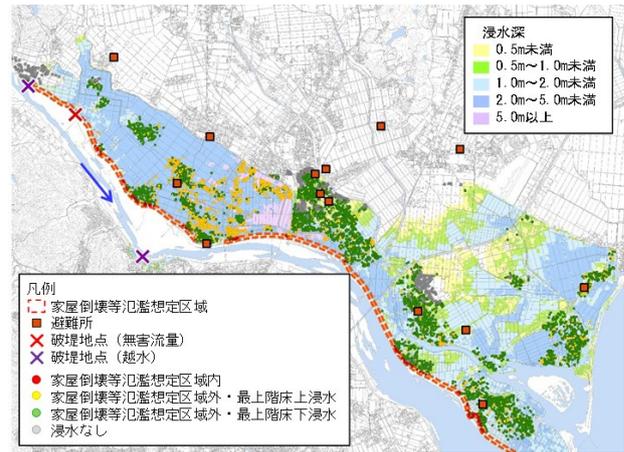


図-4 要立ち退き避難となる建物の抽出 (A地区)

また、立ち退き避難可能な建物の中でも避難所まで1時間を超過するような長時間移動が必要となる建物は、実際の避難時は雨中であることを考慮すると、避難所への到達は難しいと考えられるが、本研究では立ち退き避難可能な建物とした。

e) 地区・建物ごとの施策の検討

要立ち退き避難となる建物の分布とその要因の整理結果を分析し、例えば、避難開始時点ですでに内水による浸水深が高まり、避難できないような地区においては、内水河川の整備やポンプ施設の増強のような内水排除を主とした施策、避難所の収容可能人数が不足する地域については、各避難所の避難エリアの見直し、民間施設の活用や周辺の高台を経由した避難経路の設定のような施策を実施した場合の立ち退き避難の可否を試算し、施策の実効性を評価することが可能となる。

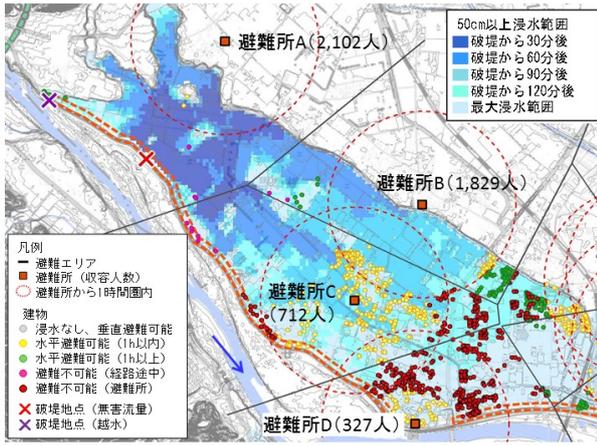
3. モデル地区における試算 (A地区)

扇状地河川の左岸側の地区で、河岸段丘状の地形となっており、段丘上は浸水の影響は少なく、避難が必要となる建物は段丘下に集中しているが、避難所は段丘上下に点在している特徴をもつA地区を対象とした。

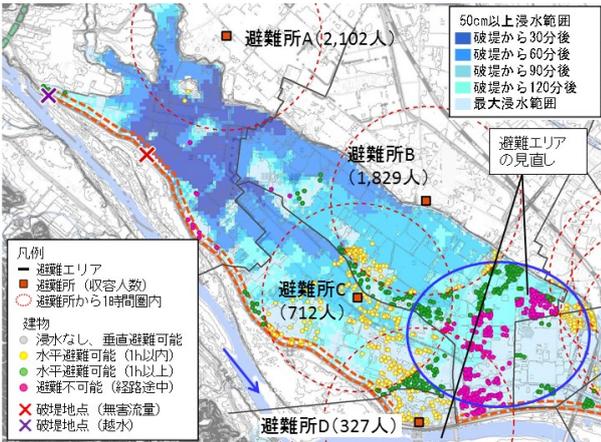
当該地区は流下型氾濫の地形であるため、河川の破堤による外水氾濫に着目することとした。最大浸水深は、想定最大規模の外力に対して、一連区間で被害が最大となる地点を無害流量到達時に破堤させるが、その後の水位上昇により当該地点とは異なる地点で越水が生じる場合は、その地点も越水開始直後に破堤させるという条件で試算した。

(1) 要立ち退き避難となる建物の抽出

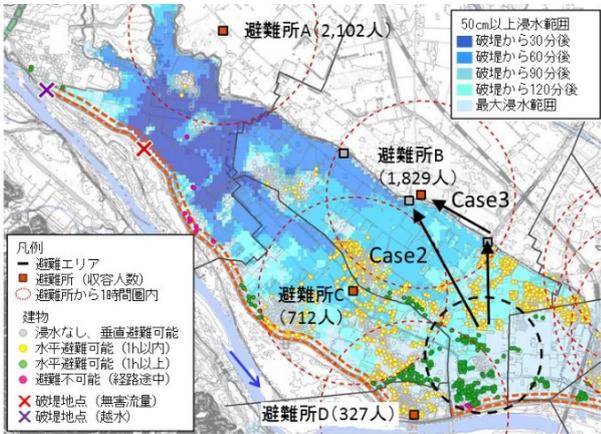
図-4は要立ち退き避難となる建物を抽出した図である。要立ち退き避難者は4,076人であった。家屋倒壊等氾濫想定区域以外では、今回検討範囲の中上流部付近に要立ち退き避難となる建物が集中していることがわかる。この中上流部の地域を中心に避難の可否を評価する。



【Case1】



【Case2】



【Case3】

図-5 立ち退き避難の試算結果 (A地区)

(2) 立ち退き避難可否の判定

(1)の試算で要立ち退き避難となった建物を対象に、避難所ごとの避難エリアを変えた場合の試算を行い、立ち退き避難の可否と避難困難となる要因の整理を行った。

図-5Case1は、避難勧告発令を契機に要立ち退き避難者が一斉に最寄りの避難所に避難する場合の試算結果である。避難所を中心とする破線の円は避難所まで1時間で到達できる範囲を示しているが、避難所Dのような収容可能人数が少ない避難所の周辺では、避難所まで1時

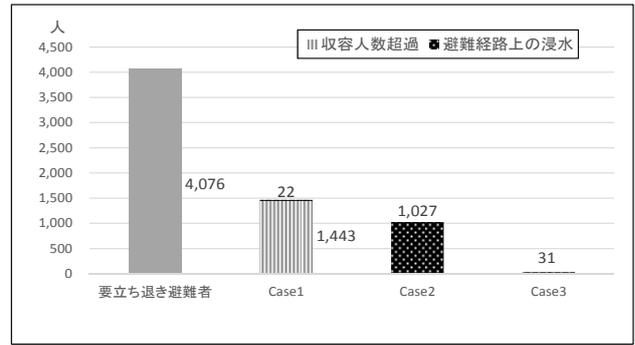


図-6 立ち退き避難困難者の推移 (A地区)

間圏内にもかかわらず立ち退き避難困難となる建物が多く見られる。Case1では立ち退き避難困難者は1,465人となり、要因を見ると、避難所の収容可能人数超過によるものが1,443人、避難経路上の浸水によるものが22人と収容可能人数超過による割合が多くを占めた。

Case1の試算結果を踏まえ、避難所Bのように収容可能人数に余裕がある避難所は避難エリアを広く、避難所Dのように余裕がない避難所は避難エリアが狭くなるよう、避難所の割り当てを「最寄りの避難所」から「最寄りの避難所を原則として、各避難所の収容可能人数を最大限に活用できるよう建物ごとに避難先を再調整した避難所」とした (Case2)。この結果、立ち退き避難可能者は438人増加し、立ち退き避難困難者は1,027人とCase1に比べ7割程度に減少したが、最寄りの避難所ではなく、離れた避難所に向かうこととしたため、避難経路上の浸水による立ち退き避難困難者が増加した。

試算結果を見ると、避難所Bの避難エリアに立ち退き避難困難となる建物が集中していることがわかる。しかし、避難所Bは段丘上に位置し浸水しないため、避難所に辿り着かなくても段丘上に到達した時点で避難が完了したものと評価できると考え、このエリアの要立ち退き避難者は直線的に避難所に向かう経路ではなく、段丘上への主要道路の接続点を経由して避難所に向かう経路に見直した (Case3)。なお、避難所の割り当てはCase2と同様として試算を行った。段丘との接続点まで距離のある堤防沿いの一部の者が立ち退き避難困難となるが、それ以外の者は概ね避難が可能となることが確認できた。立ち退き避難困難者は31人となり、地形条件を考慮することで、ほとんどの居住者が立ち退き避難可能となる避難所の割り当てを見出すことができた。この31人については、リスクが特に高いため、他に比べて早い段階で避難を呼びかける等の対応が考えられる。

図-6にCase1~3の立ち退き避難困難者の推移を示す。

以上の通りA地区では、避難収容人数の不足という課題に対して、本手法を用いた地図上の検討により、地区の地形の特徴を反映した避難世帯の避難先の割り付け直しという解決策を具体的に検討することが可能であった。

4. モデル地区における試算 (B地区)

B地区は周囲を本川・支川に囲まれて全域が浸水区域となっており、A地区のような高台もなく、避難所の数も少ないため、地区内のみでの避難は困難な地区である。A地区の検討では破堤による外水氾濫のみを対象としたが、B地区は貯留型氾濫の地形であり、内水河川からの溢水も懸念されることから、内水氾濫も考慮した。

(1) 要立ち退き避難となる建物の抽出

この地区は、要立ち退き避難者を区分したところ9,225人であった。下流部で浸水深が深くなる傾向にあり、最大浸水深が建物最上階の床高を上回るため要立ち退き避難となる建物が多く見られる(図-7)。しかし、本地区には旧河道跡の自然堤防が微高地となっており、自然堤防上の建物は立ち退き避難が不要となった。

(2) 立ち退き避難可否の判定

B地区では9箇所の避難所が存在するが、当該地区の地域防災計画によると、このうち5箇所は浸水により使用不可能とされており、さらに1箇所が家屋倒壊等氾濫想定区域内のため、使用可能な避難所は3箇所のみとなった。しかし、これでは明らかに避難所数が不足するため、使用不可能とした6箇所の避難所の浸水状況を再確認すると、最上階が浸水していない避難所が2箇所あり、このうち1箇所は家屋倒壊等氾濫想定区域内であったが、鉄筋構造物の校舎であったため、倒壊する可能性は低いと判断し、2箇所の避難所を追加して5箇所の避難所で試算を行うこととした。試算結果を図-8に示す。

避難所の活用により、立ち退き避難困難者は3,684人となった。個別に避難困難要因を見ると、合流点付近は近くに避難所があるが、避難勧告時にはすでに内水河川からの溢水により避難経路が浸水しているため避難所に到達困難であった(138人)。それ以外の3,546人は避難所の収容可能人数超過によるものであった。

(3) 対策案の検討

以上の検討の結果、B地区では避難所を利用するだけでは、多くの人立ち退き避難困難となることから人的被害ゼロを目標とし、施策案について評価を行った。

a) 民間施設等を活用した避難の検討

地区内の役場庁舎を含む4箇所の高層建物を避難場所として利用した避難を検討した。なお、民間施設の収容可能人数は、非浸水階の延床面積にレンタル比(延床面積に対する賃貸可能な面積の割合)と1m²当たりの収容可能人数を乗じて設定した。なお、レンタル比は加藤ら²⁾の論文を参考に15%、1m²当たりの収容可能人数は1人とした。最寄りの避難所または避難場所に避難することとして試算を行った。

避難場所を追加したことにより、5箇所の避難所の試算結果と比べ、立ち退き避難可能者は795人増加し、立ち退き避難困難者は2,889人となった。収容可能人数を



図-7 要立ち退き避難となる建物の抽出 (B地区)



図-8 立ち退き避難の可否(避難所5箇所) (B地区)

見ると5箇所の避難所の場合と比べて倍程度の能力となったが、避難所・避難場所の配置に偏りがあったため、立ち退き避難可能者が大きく増加しなかったと推察できる。避難困難要因を見ると、内水河川周辺の213人は避難経路上の浸水によるものであったが、残りの2,676人は避難所の収容可能人数超過によるものであった。

b) 広域避難の検討

B地区内の避難所では収容しきれないと考え、山付となるA河川の対岸側(西側)と比較的浸水深の低いB河川の対岸側(南側)への広域避難を検討した。避難者は橋の袂まで徒歩で移動し、そこからバスに乗り対岸の避難所へ移動するものとした。橋から1時間圏内の避難者は全て広域避難が可能であると仮定して試算を行った。広域避難の実施により5箇所の避難所では立ち退き避難が困難であった3,684人のうち1,656人が立ち退き避難可能となり、立ち退き避難困難者は2,028人となった。広域避難については、受け入れ側の避難所の使用状況や避難に伴う交通渋滞の問題を始め、多くの課題があるが、B地区のように地区内のみでの避難が困難となる地区では有効な施策であると考えられる。

c) 施策の組合せによる検討

以上で検討した単独の施策だけではB地区の立ち退き避難困難者を減らすことは難しいため、民間施設等の活用と広域避難の施策を組合せて実施したが、立ち退き避難困難者は1,167人となった。図-9に以上の検討による施策ごとの立ち退き避難困難者の推移を示す。

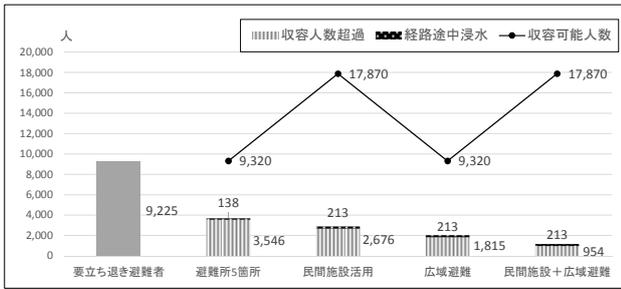


図-9 施策実施による立ち退き避難困難者の推移

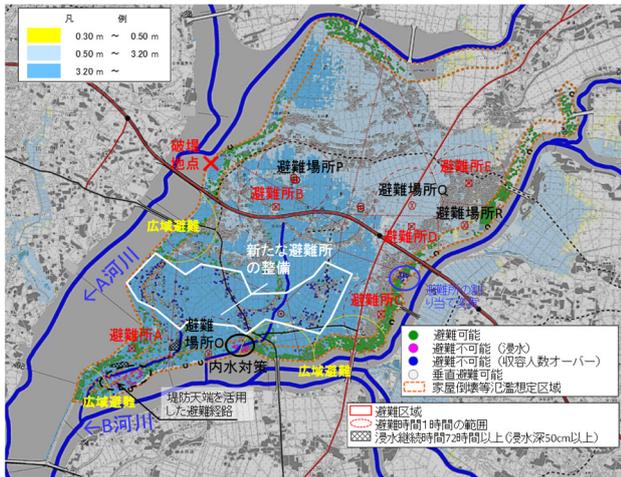


図-10 地域・建物ごとの施策案

d) 内水対策

避難所A付近と避難場所O付近の地区については、避難場所の追加や広域避難の施策では立ち退き避難困難者を減じることができなかったため、内水河川の拡幅とB河川に接続する樋管断面の拡張を行う施策を検討した。避難場所O付近の地区は、内水による浸水が解消され、立ち退き避難が可能になることが確認できたが、避難所A付近の地区では浸水が残り、避難所にたどり着くことが困難であった。

e) 立ち退き避難困難者の更なる低減に向けた考察

これまでの施策を実施しても立ち退き避難が困難となる建物の分布とその要因を元に、個別に施策案を考える(図-10)。避難所の収容可能人数超過による立ち退き避難困難者のうち、避難所Cエリアの立ち退き避難困難者は避難所Dの収容可能人数に空きがあることから、あらかじめ避難所の割り当てを変更しておくことで、立ち退き避難可能になると考えられる。それ以外の立ち退き避難困難者は付近に避難所や高台がないため既存の施設を活用した避難は困難であることから、新たな避難所の整備が必要であると考えられる。また、避難経路上の浸水により立ち退き避難が困難となる避難所A付近の建物は、堤防天端を避難経路とすることで立ち退き避難が可能になると考えられる。

このように建物・地域ごとに適した施策を実施することで、概ね立ち退き避難困難者は解消できると考えられ

るが、立ち退き避難可能者の多くは避難時間が1時間以上になるため、移動時間の問題は残る。

以上のようにB地区では、避難所の割り当てに加え、対策案の検討も実施した。個別の建物の位置情報により地図上で避難の可否を図示することにより、広域避難が可能な区域、内水対策が必要な区域等、区域ごとの個別の対応が明確になる本手法の特徴は、自治体において実際に具体的対策を検討する際に有効なツールとなり得る。

他方、過去の水害の実績によると、必ずしも要避難者の避難率は100%ではなく、避難勧告直後に避難行動が開始される訳でもない。しかし今回の試算では、各地区の実際の地域防災計画で想定されている避難勧告のタイミングで、要避難者は全員避難を開始する理想的な状態を想定している等、避難者行動の妥当性については、さらなる検討の余地があると考えられる。

4. おわりに

本手法により、建物ごとに避難の可否と避難困難要因を明確にすることで、地域内で洪水に対して人的被害の生じる可能性の高い場所の把握や、地域一律ではなく地区・建物ごとに有効な施策検討が可能であることが示された。また、本手法では避難所の割り当てや避難経路の設定等の不確実性のある項目については簡易な解析が可能となるような仮定をおいているが、現地の地形や特性に応じて、簡易な条件設定の変更により対応できることを示した。現在、試算を行った地域の市区町村職員、河川管理者とともに本手法を用いた施策の実効性について、種々の視点から評価を行うなどの協働作業を行っているが、本手法を使用するにあたって追加すべき情報や詳細な条件設定が必要な項目を聞き取り、市区町村が独自で施策検討が可能となるよう手法の改善を図っていきたい。

謝辞：対象地域の基礎データや試算結果の提供にご協力頂いた河川事務所等の担当者の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 片田敏孝・桑沢敬行・信田智・小島優：大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析：土木学会論文集B1(水工学), Vol.69, No.1, pp.71-82, 2013.
- 2) 加藤拓磨・板垣修・服部敦・深見和彦・鳥居謙一・藤田光一：近隣の中高層建物の分布を考慮した大規模氾濫時の人的被害マクロ試算手法の開発, 河川技術論文集, 第20巻, pp.403-408, 2014.
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引(H25試行版), 2013.
- 4) 須賀堯三・上阪恒雄・吉田高樹・浜口憲一郎・陳志軒：水害時の安全避難行動(水中歩行)に関する検討, 水工学論文集, 第39巻, pp.879-882, 1995.

(2017. 4. 3受付)