

建物用途別の資産鉛直分布及び浸水確率を 踏まえた都市における家屋・事業所の 資産被害評価の検討と試行

AN ASSET DAMAGE ASSESSMENT OF HOUSES AND OFFICES IN CITIES
CONSIDERING VERTICAL DISTRIBUTION OF ASSETS UNDER TYPICAL
BUILDING USES AND INUNDATION PROBABILITY

山本陽子¹・柳川一博²・深見和彦¹・木内望³・鳥居謙一⁴・天野邦彦⁵
Yoko YAMAMOTO, Kazuhiro YANAGAWA, Kazuhiko FUKAMI, Nozomu KIUCHI,
Kenichi TORII and Kunihiko AMANO

¹正会員 工修 国土技術政策総合研究所 河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

²非会員 工修 関東地方整備局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2-1) *

³非会員 工博 国土技術政策総合研究所 都市研究部都市計画研究室(〒305-0802茨城県つくば市立原1)

⁴正会員 工博 土木研究所研究調整監 (〒305-0804 茨城県つくば市南原1-6) *

⁵正会員 工博 国土技術政策総合研究所部長 河川研究部 (同上)

* 元国土技術政策総合研究所河川研究部

We evaluated the risk characteristics prescribed by the probability of various flooding depths and the vertical distribution of asset damage amount depending on building use of housings and offices at their locations. We also evaluated the reduction of asset damage amount with flooding countermeasures such as flood barriers, by giving our vertical distribution models of assets and the probability of various flooding depths. Through these procedures, it is expected economic rationality of flooding countermeasures can be judged for individual building. Furthermore, spatial damage characteristics were compared and discussed through applying the above approach to the 5 districts of cities in Japan, in combination with GIS data which show the location with altitude, floor number, usage etc. of each building, assuming virtual probability of various flooding levels.

Key Words : risk management, asset damage, vertical distribution of assets, flood probability

1. はじめに

気候変動によって、年最大流域平均雨量が将来1.1～1.3倍になると予測されている¹⁾。全国の河川においては、財政制約の下、長期に亘り河川整備が進められてきたが、今後は施設の整備規模を超える豪雨がより高頻度で発生する可能性がある。施設整備だけでは防ぎきれない被害に対して、人的被害を出さないための避難の徹底等の対策が必須である一方、広域に亘る被災で甚大な資産被害が発生すると、地域の復旧自体が困難となることから、資産被害の軽減に向けた取り組みも重要である。そのため、河川、下水道による氾濫、浸水対策を進める一方で、浸水被害を受けにくく復旧が早いまちづくりや、住民、事業者等による自助対策を組み合わせることによ

り、少しでも被害を減らすことが望まれる。これに対して、中央環境審議会気候変動影響評価等小委員会答申²⁾(平成29年3月)においては今後の取組の方向性として、「脆弱性・暴露、更には適応策の効果を評価するための指標や手法の開発を進めていくこと」が重要であり、「地理情報システム (GIS) 等の技術も活用し、脆弱性・暴露の地域分布がどのようになっているかをわかりやすく示し、様々なステークホルダーに適応策の実施を促すことが可能となるような情報整備を進めていくことも有用である」とされている。

これまで水害対策として公表されてきた情報は、浸水想定区域図のようにハザードの情報に留まっており、個々の住民、事業者には起こりうる被害が具体的にイメージされにくい。実際の被災を受けていない地域の住

民や事業者にとっては、特に再現期間が100年といった低頻度ハザードを実感するのは難しく、住民、事業者自ら事前に対策をする機運は高くない。これに対して、より実感を伴う発生確率の高いハザードの情報を含めて提示することにより、自助対策の促進に資する可能性がある。近年、GISの普及により、全国の家屋ごとの位置及び用途のデータが入手可能となったことから、本研究では、住民、事業所ごとに想定される浸水被害及び対策効果の情報をオーダーメイドで提示し、対策実施への意識を促すための手法の開発を目指した。

竹中ら³⁾は、洪水規模の生起確率年と被害の大きさの関係より、様々な確率規模の外力に対する河川改修の影響を評価する手法を提案した。なお、このとき想定していたのは、大川川の外水氾濫による被害のみであった。今回、この手法を援用し、外水氾濫のような相対的に低頻度のハザードの被害評価を行うことに加えて、さらに高頻度に発生しうるゲリラ豪雨や中小河川の氾濫によって生じる内水被害による浸水被害も想定した。さらに対策について、河川改修に留まらず、下水道事業や、個人や民間事業者による浸水対策も同等に評価を試みた。

2. 手法の概要

今回開発した手法の概要を示す。まず、建物の構造や家具や設備等の配置について、用途ごとに典型的な家屋及び事業所のモデル建物を想定し、資産が存在する鉛直分布を求めるとともに、これを用いて被害（財産や商品の損壊、建物・設備の交換・修理・清掃等）が発生する浸水深、およびその被害額を設定した。これに基づき、各浸水深 h における総被害額 $d_0(h)$ （以下、「資産被害モデル」、図-1）を作成した。さらに、これを用いて、浸水に対する被害軽減対策を建物に講じた場合の資産被害モデル $d_m(h)$ についても設定する（図-2）。設定の詳細については3.に述べる。さらに、対策前 $d_0(h)$ と対策後 $d_m(h)$ の差分（被害軽減額）より、各建物への対策効果を得ることができる。

ここで、治水経済調査マニュアル（案）⁴⁾の手法を参考に、高頻度から低頻度までの異なる年平均超過確率のハザード $i = 1, 2, \dots$ によって生じる浸水深 h_i の年平均超過確率が N_i で与えられるとき、ある浸水深に対する年平均被害額 D_i （図-4、図-5）を、隣り合う年平均超過確率のハザードに対する資産被害モデルの値の平均をとって、以下のように算出した。

$$D_i \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) = (N_i - N_{i+1}) \cdot \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \quad (1a)$$

ある建物における年平均被害額の累計（期待値） D_0 は、浸水深ごとの年平均被害額を累加から求められる。

$$D_0 = \sum_i D_i(h_i) \quad (1b)$$

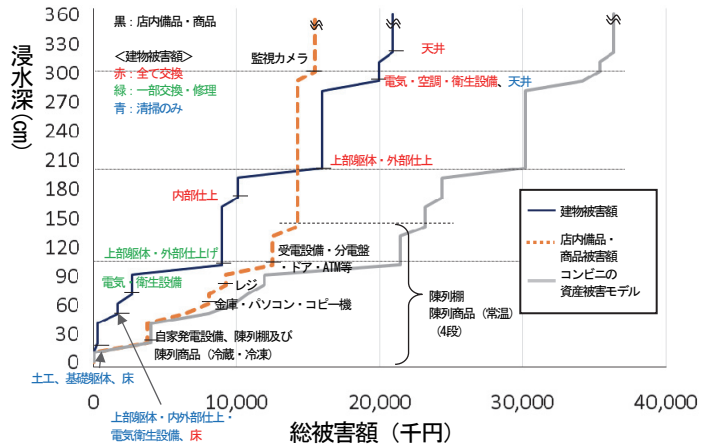


図-1 モデル建物の設定例（コンビニエンスストア）

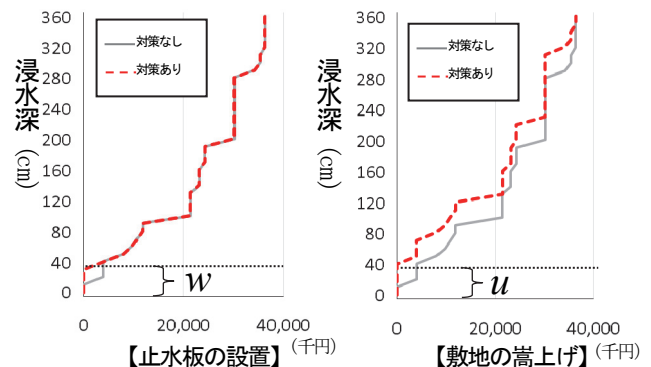


図-2 対策による資産被害の特性の変化

対象地域において、建物ごとに階数、用途及び位置情報を持つGISデータを用いて、建物ごとに用途に応じた資産被害モデル（対策前・対策後）を設定する。一方、対象地域の浸水想定区域図より、各建物の位置の浸水深が与えられる。浸水深と資産被害モデルの両者の情報より、対象地域内の各建物の被害額及び対策効果を算出することができる（図-6、図-7）。

3. モデル建物を用いた資産被害及び対策効果の発現に関する感度分析

以下では、コンビニエンスストアを対象に、モデル建物の設定手法を説明し、資産被害評価の考察を行う。

(1) 資産被害モデルの作成

資産被害モデルは、図-1に示すように、①建物被害額（建築物本体の部材・設備の修理・建て替えが必要となる浸水深）、②店内備品・商品等被害額を想定し、それらの和として設定した。そのため、①建物の構造の工夫や②家具や物品の置き方による資産被害低減効果が検討可能である。設定にあたっては、用途に該当する事業者への聞き取り、及び建物・設備配置調査を実施した。今回は、浸水被害軽減対策について、止水板の設置と敷地の嵩上げの2パターンを想定した（図-2）。

(a) 止水板の設置

建物の開口部に仮設の止水板を設置することにより、止水板の高さまでの浸水を防止する。以下の式で評価する。ここで、 w は止水板の高さ。

$$d_0(h) = \begin{cases} 0 & (0 \leq h \leq w) \\ \int_0^h f(z) dz & (w < h) \end{cases} \quad (2a)$$

(b) 敷地の嵩上げ

建物の敷地全体を盛り土等により嵩上げる。ここで、 u は敷地の嵩上げ高さ。

$$d_0(h) = \begin{cases} 0 & (0 \leq h \leq u) \\ \int_0^{h-u} f(z) dz & (u < h) \end{cases} \quad (2b)$$

なお、止水板設置については、30cmまたは80cmの場合、嵩上げについては30cmまたは50cmの場合について検討した。コンビニエンスストアは事業者のヒアリングにおいて、通常時に顧客の利便性を損なう嵩上げのような対策は非現実的との回答を得ていることから、極力利便性を損なわない程度の高さを基準として比較した。

(2) 感度分析に用いる確率の仮定

まず、建物単体に対して嵩上げ、止水板設置等の浸水対策を講じた場合の効果が、建物用途及び浸水特性に応じて異なることを感度分析的に検証するため、資産被害モデルに仮定の浸水深別の浸水確率を与えることにより、対策による資産被害額の低減を評価した。

本来は内水、外水の区別なくシームレスな浸水確率を与えることを最終的な目的としているが、生起確率の異なるハザードの影響をわかりやすく分析するために、今回は図-3の3つの浸水ハザードを想定した。Case1については、高頻度に発生するが、最大浸水深が50cm程度の内水被害を想定した。Case3は、発生頻度は70年に1度以下の低頻度であるが、一旦発生すると最大浸水深が1m以上、100年に1度は1階部分がほぼ冠水する2.5mを超える浸水が予想されるような大河川の外水氾濫のハザードを想定した。Case2はこれらの中間程度の30年に1度以上発生し、50年に1度は最大浸水深が1m以上になるようなハザードとした。

(3) 感度分析の結果

(1) で示したコンビニエンスストアの資産被害モデルに対して、浸水対策なしの場合と、止水板を設置した場合(図-4)、及び嵩上げ対策を実施した場合(図-5)について、(2)のハザードの確率をそれぞれ与えて、浸水深ごとの年平均被害額で比較した。なお式(1a)の通り、各浸水深の平均値から区間確率を求めて被害額を算出していることから、例えば30cmの止水板は、実際には浸水深35cmでは効果がないが、図上は浸水深25cmと35cm

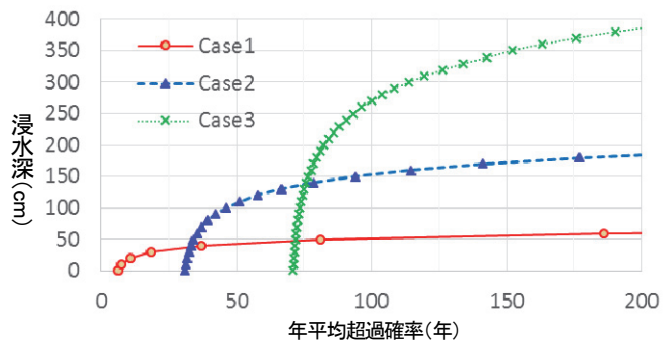


図-3 浸水ハザードの仮定

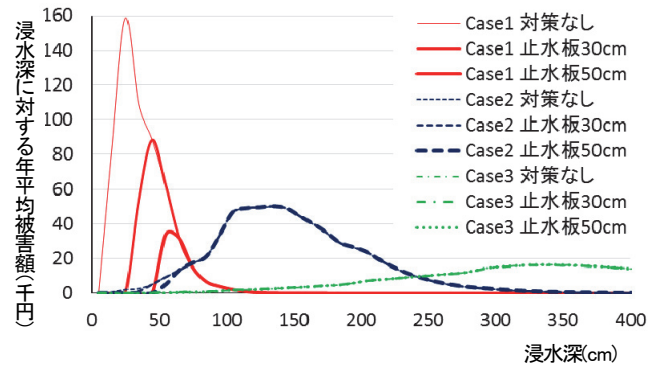


図-4 コンビニエンスストアの浸水深ごとの年平均被害額 (止水板設置)

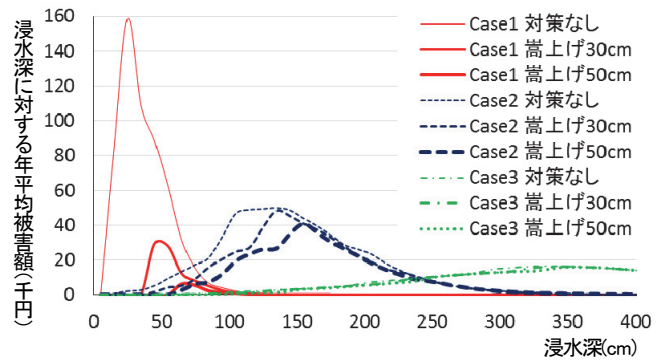


図-5 コンビニエンスストアの浸水深ごとの年平均被害額 (嵩上げ対策)

の被害額に効果が反映されている。

図-4、図-5のグラフ上で各対策の効果は、対策なしの場合の被害額のラインと、各対策を実施した場合のラインの差分として表れる。年平均被害額に対策の耐用年数を乗じた便益と、対策の実施コストを比較することで、建物単体の対策の費用対効果が判断可能である。

図-4、図-5より、どの対策も高頻度で低浸水深の被害が生じるようなハザードに対しては便益が見込める。止水板は一般的に設置費用がより安価であるが、その高さをを超える浸水には効果がない。一方、嵩上げはより広範囲の浸水深に対してある程度被害低減効果が発揮されるが、対策費用が高く、通常時にはバリアフリーの支障ともなり得る。

嵩上げ、止水板のどちらの対策においても、低頻度で大浸水深が生じるCase3については、Case1、Case2と比較して、ほとんど被害軽減効果が見られない。このこと

表-1 モデル地区

	地形の特徴	建築用途の特徴
A地区	大河川河口部のデルタ地帯で勾配差が小さい	建物数1,592件 都市中心部の官庁街 事業所が中心
B地区		建物数4,267件 主要駅周辺は業務用地・高層住宅地。駅北部に戸建て住宅地
C地区		建物数4,496件 幹線道路沿いは業務用地・高層住宅地。その他は主に戸建て住宅地
D地区		大河川中流部で堤内地区は河岸段丘状(高台) 建物数1,174件 高速道路IC周辺(首都圏郊外部)。 川沿いの低い区域は農地に事業所・工場等が点在。高台に戸建て、事業所が立地。
E地区		支川中流部で堤内地区は勾配有り(谷底状) 建物数10,607件 首都圏の主要駅の商業・業務地区に隣接する稠密な住宅系市街地

から、建物単体の対策は、内水被害や中小河川の氾濫被害のような高頻度、低浸水深のハザードに対しては有効であるが、浸水深の大きい水害、特に大河川の氾濫のような低頻度の大水害に対しては、便益がほとんど見込めず、別に異なる対策が必要となる。以上のように、ハザードの発生確率に応じて、効果のある対策が異なることがわかる。

4. モデル地区における資産被害及び対策効果評価への展開

次に、手法を地区全体に展開するため、地形及び土地利用・事業所立地構成が異なるモデル5地区において、建物ごとの位置、階数、用途などがわかるGISデータを用いて、地形を加味した仮定の浸水深を与え、地区ごとの資産被害の特性を比較検討した。

(1) モデル5地区の特徴

外水と内水の影響をみるという視点で、全国の河川流域のうち、比較的、内水被害が問題になっているような3流域を選定し、地形や土地用途構成の多様性の面から表-1に示す5地区をモデル地区として選定した。モデル地区は、面積およそ200haを目途に、複数の町丁目単位で設定した。各地区の建物数については、表-1に、建物用途の割合については、図-6中に示す。

(2) 浸水深の条件

浸水深の分布は、氾濫計算を行わず、同一地区内での地形条件を反映した評価をするために、浸水位を同一標高で一定として与え、LPデータの地形標高との差分を浸水深として与えた。浸水位の設定は、地区内の最低標高地点における浸水深(地区内の最大浸水深)を目安に

表-2 浸水位の条件

ハザードケース	I	II	III	IV	V	VI
発生頻度	高頻度 ←————→ 低頻度					
地区内の最大浸水深	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	3.0m	5.0m

表-3 モデル建物

用途		対応させたモデル建物のパターン
家屋		戸建て、アパート、マンション
事業所	店舗	書店、スーパーマーケット
	事務所	中高層事業所
	工場	まち工場、大工場
	医療・福祉施設	診療所、病院、特養

表-2に示す6パターンとした。実際には地区毎に頻度が異なるため、地区間の被害額等の絶対値の比較は意味を持たない。ハザードの正確な確率評価については今後の課題である。

(3) モデル建物の設定

今回は表-3に示す11種類のモデル建物を設定した。地区における各建物の用途は、(株)ゼンリン社の建物ポイントデータを用い、今回作成した資産被害モデルのモデル建物に最も近いと考えられる用途に割り当てた。設定したモデル建物の詳細を以下に示す。

(a) 家屋

家屋については、2階建ての戸建て家屋を対象とした既往調査結果を、資産被害モデルの基本とした。資産被害額は、3.で紹介した事業所の事例と同様、①建物被害額、②家庭用品被害額の鉛直分布を想定し、それらを足し合わせることで、一戸あたりの資産被害額の鉛直分布としている。

集合住宅においても一戸あたりの家庭用品の資産額は戸建てと同じと仮定し、それらを1階層に展開した上で、積層することで、2階建てのアパート、複数階建てのマンションの資産被害モデルを作成した。さらにマンションについては、③共用部の被害額を加味した。

実際には、戸建ては家族、アパートは若年層・独身者の割合が多い等、家屋種別ごとの家族構成の特徴によって資産被害モデルを変えることがより望ましい。

(b) 事業所

事業所については8ケースを設定した。店舗については、浸水による在庫被害が甚大になることが予想される書店と、在庫の回転率が早く浸水による被害は什器が主と予想されるスーパーマーケットを採用した。なお、スーパーマーケットを除く全て商店を、書店として扱ったため、今回の試算における商店の被害額は評価が過大になっていると考えられる。

また、都市内に多い用途として、事業所と工場を想定した。工場については、事業規模による資産額の差を表現するために、まち工場と大工場の2ケースを作成した。

さらに、社会的影響の大きい施設として医療・福祉施

設の設定も試行した。

(4) モデル地区の浸水深別の被害額の試算

以上の条件の下、5モデル地区において被害額を評価した結果を図-6に示す。

A地区、B地区、C地区は、地形条件としては勾配差がないほぼ平坦な地形であり、建物用途ごとに浸水深の差があまりない。どの地区も、建物数では家屋が5割以上を占めるが、被害額で見ると、より資産の大きい事業所の被害が支配的である。地区ごとの被害の差は浸水深の小さい条件で特徴的に現れており、被害が生じる区域が限定的なハザードIの条件では、A地区では大工場、B地区では診療所・病院、C地区では商店の被害が大きく、高頻度のハザードに対してはまずこれらの用途の対策が効果的である。また、C地区は他の地区と比較して、戸建て家屋の被害の割合が大きい。

D地区、E地区は、地形の影響を大きく受ける結果となった。D地区は、河川沿いの標高の低い区域に事業所や工場が多く立地する特性から、ハザードII以上の浸水深では、事務所、まち工場、大工場の被害が7割を占めた。建物数の5割以上を占める戸建て家屋は、多くが河岸段丘上のやや標高が高い位置に立地しており、浸水深が最大となるケースでも被害は全体の1割程度と限定的である。河川沿いの事業所に対して対策をすることで、被害の大部分を軽減できる可能性がある。一方E地区は、川沿いの斜面に戸建て住宅が立地していることから、5地区のなかでは最も戸建て住宅の被害の割合が大きい結果となった。

(5) モデル地区の対策効果の試算

次に、地区全体の建物に対して、50cmまたは80cmの止水板または嵩上げ対策をした場合の被害軽減効果を試算した。ここでは、C地区、D地区、E地区の結果のみを示す(図-7)。なおここでは3.に示した試算と異なり、各浸水深の確率が不明であることから、被害軽減額は年平均値(期待値)ではなく、対策前後の被害額の差分の絶対値であることに留意されたい。

C地区においては、止水板による対策は、最大浸水深ハザードIIIで最も被害低減効果がある一方、嵩上げはIV、Vで最大値をとる。どちらの対策も最も浸水深が大きいVIのケースでは軽減効果が減少する。この地区は平坦な地形なので、多くの建物が同程度の浸水深となる。そのためこの傾向は3.の感度分析の結果と同様、止水板と比較して嵩上げはさらに高い浸水深まで効果を発揮することを示していると言える。

一方、D地区においては、全ての対策がハザードVで効果が最大となり、VIでは効果が減少する。これは地区の地形特性として、Vまでは戸建て住宅等の多い高台で浸水深が対策規模を下回る50~80cm以下に留まるのに対し、VIでは高台においても浸水深が100cm以上となり、

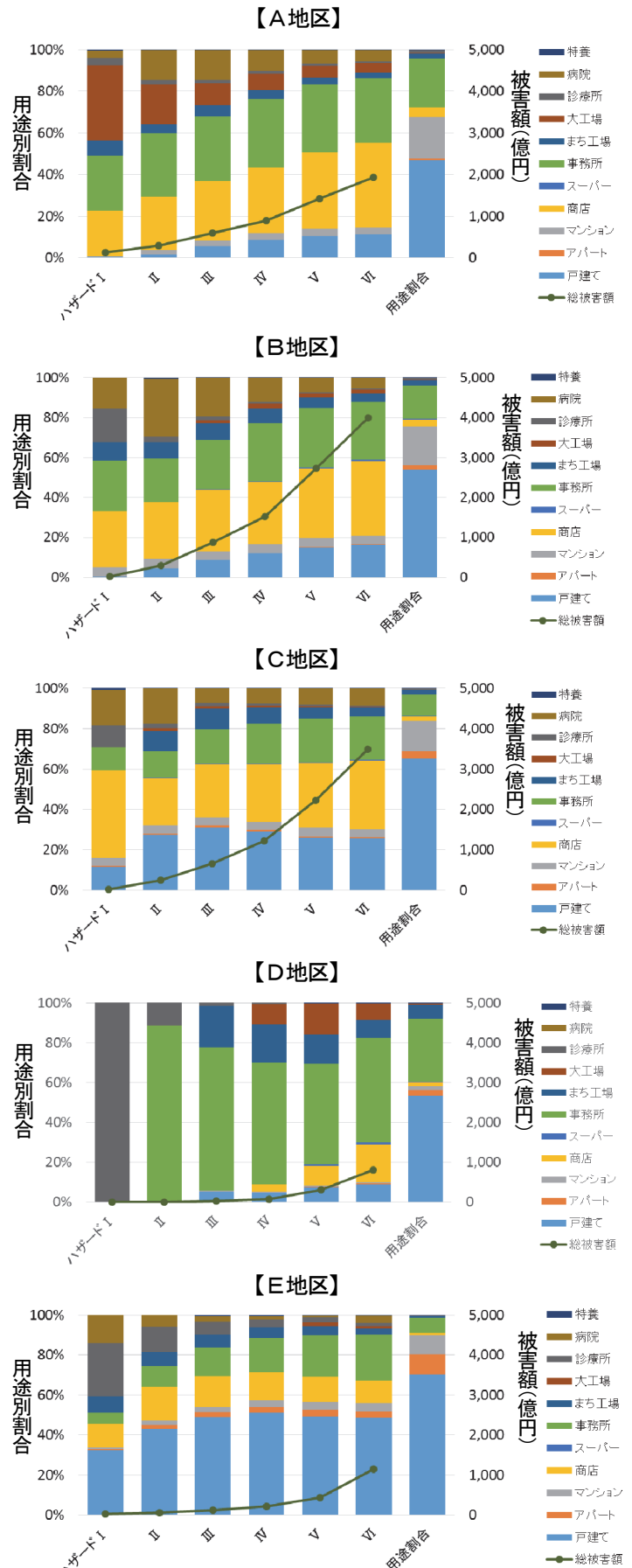


図-6 モデル地区の浸水位別の被害額とその用途割合

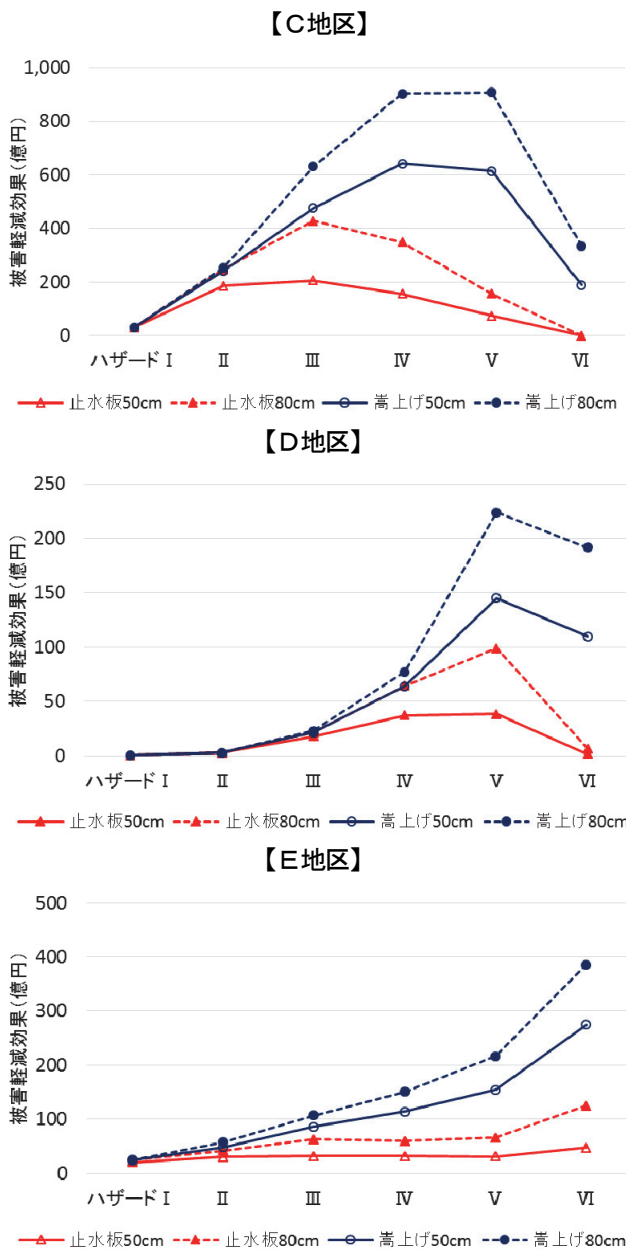


図-7 モデル地区の浸水位別の対策効果

大きな対策効果が発揮されないためである。

さらに、E地区においては、対策効果はほぼ右肩上がりであり、ハザードIVで効果が最大となる。E地区は斜面に沿って建物が連亘していることから、浸水深が大きくなるほど、低標高の建物での効果は低減する一方で、より標高が高い建物で被害低減効果が発揮される。ただし、地形が急勾配のため、建物の浸水深が50cm以下となる区域の割合は、どの浸水深の条件においても大きくならない。そのため、50cm以下の浸水深でしか効果が発揮されない止水板50cmの対策では、相対的に限定的な対策効果しか期待できない。

以上から、仮定の浸水深ではあるが、地形の影響により、地区によって効果のある対策の規模が違ってくることを示すことができた。

5. まとめと今後の課題

本研究では、建物ごとに、その浸水特性及び建物用途や事業所区分によって異なる資産被害リスク及び対策効果を、低頻度の外水被害だけでなく、比較的高頻度の内水被害を含めた、総合的なリスク情報として算定する手法を提案した。これを発展させることで、個々の建物ごとに経済合理性の高い浸水対策を判断することが可能である。またGISデータを用いた試行により、建物レベルでのリスク評価を地区レベルに展開できることを示した。これにより、地区の社会的・地理的特性に応じたきめ細かい対策検討が可能となる。事業所の種類については、現実には多様であり、建物の種類を網羅することは現実的に不可能であることから、本手法は、従来のメッシュ単位で統計的に導かれていた地域全体の被害額の精度向上には必ずしも適さないが、個々の建物にとって、その立地特性、住民属性、用途等を精緻の反映した被害の把握により適していると考えられる。

今後は、モデル建物の資産被害モデルの種類を増やし、より詳細に住民属性や事業所の特徴を表現できるようにすることにより、住民や事業者にとってより実感のあるリスク情報とする他、各自自治体が対象地域の個性に見合った施策を判断するためにも使用できるものとしていきたい。さらに浸水深に対して確率情報を持たせ、最終的には、外水、内水による浸水確率をシームレスに表現できることを目指し、流域全体でどのような対策の組合せ・分担で実施するのが最も経済合理性が高いのか、評価できる手法の確立を目指すとともに、気候変動や社会変化を考慮した分析にも展開していきたい。

謝辞：本研究の実施にあたっては、多くの事業者の方にモデル建物の設定のための調査にご協力いただき、深く感謝致します。また本研究は、国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部として平成27年度より実施したものであり、メンバーから多くの協力、示唆を受けた。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部「国土技術政策総合研究所資料749号 気候変動適応策に関する研究（中間報告）」, pp. II-142, 2013.
- 2) 中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会「気候変動適応策を推進するための科学的知見と気候リスク情報に関する取組の方針（中間とりまとめ）」, 2017
- 3) 竹中裕基,板垣修,小林勝也,服部敦: 様々な洪水規模に対する河道-構造物群システムの応答シナリオに基づく氾濫リスク・減災効果評価, 河川技術論文集, 第21巻, pp.49-496, 2015.
- 4) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル(案), pp.60, 2005.

(2017. 4. 3受付)