木造戸建て住宅の耐水化建築計画案の検討及びその費用対効果からみた評価

STUDY ON THE FLOODPROOFING PLANS OF WOODEN DETACHED HOUSINGS AND THEIR COST-EFFECTIVENESS EVALUATION

木内 望 — * 1 槌本敬大 — * 3
中野 卓 — * 2 今井信博 — * 4
石山瑠子 — * 4 井上拓哉 — * 4
米野史健 — * 1 渡邊史郎 — * 5

Nozomu KIUCHI — * 1 Takahiro TSUCHIMOTO — * 3
Taku NAKANO — * 2 Nobuhiro IMAI — * 4
Yoko ISHIYAMA — * 4 Takuya INOUE — * 4
Fumitake MENO — * 1 Shiro WATANABE — * 5

キーワード：
水害対策, 耐水化建築, モデル設計, 費用対効果, 戸建て住宅

Keywords:
Flood Mitigation Measures, Floodproof Buildings, Model Plan Study, Cost Benefit Analysis, Detached Housings

Recent flood damages in urban areas have increased the need for urban planning and building measures to respond to inundation risks. In this article, in order to obtain suggestions for building and land use management based on inundation risks, floodproofing plans are examined for a two-story wooden detached house located in an urban area. Then, the additional building cost compared with the benchmark standard plan, and the amount of damage reduction due to floodproofing are estimated. Finally, the applicability of such floodproofing measures are examined by analyzing the cost-effectiveness of plans under various conditions of inundation probability.

0. 背景・目的

相次ぐ都市部での洪水被害を受け、氾濫を前提とした都市づくりや建築における対策が求められている^{注1)}。被害を減らすには、浸水に対して脆弱で被害実績が多い、低層戸建て住宅の耐水化を含む浸水対策が求められるが、その具体的な検討は十分に進んでいない。

そこで筆者らは、浸水リスクのある地区における建築・土地利用のあり方に関して示唆を得ることを目的として、都市部における木造2階の戸建て住宅を対象に、①その耐水化の建築計画案の検討と、②耐水化に要する追加的建築コストの試算、③耐水化に伴う水害時の資産被害の軽減額の試算、④多様な浸水リスクの条件下での費用対効果等の分析、等を行った。さらに検討を踏まえて、戸建て住宅の耐水化による浸水対策の適用性を考察した結果を報告する。

1. 耐水化にかかわる前提条件の整理

1.1 内外における建築物の水害対策への取組みの概要

欧米では洪水による建物被害の割合が比較的高いことから、住宅等の敷地・建築レベルでの水害対策手法について、政府機関・研究所等により多くの検討とガイドブックの発刊がなされている^{注2)}。浸水被害に遭った建物の修復方法、浸水に強い建材、浸水防止に資する部材に加え、減災のための設計等の工夫と建物の耐水化の手法が解説されている。耐水化の手法は概ね、建物内部への浸水を許容しつつ被害を減らす“Wet Floodproofing”と、浸水を防止する“Dry Floodproofing”に分かれるが、組積造の住宅が多いこれらの国々の建物と、木造住宅が多いわが国とでは対策の考え方が若干、異なる。

わが国における住宅を中心とする建築物の水害対策に関する研究は、1980年代に河川分野で「建築物の耐水化」として検討された^{注3)}ほか、農村部を中心とした水害への防備を備えた伝統的建築・集落の研究^{注4)}や、水害の被災家屋等に関する調査等が行われている。

2001年には、水防法改正による洪水浸水想定区域の指定を受けて、家屋の浸水対策に関する基本的考え方・手法を示したマニュアル等^{注5)}が、国土交通省の河川局（当時）と住宅局の関与により発刊されている。ここでは、床上浸水を未然に防ぐ（嵩上げ・高床・囲む・建物防水：図1）や、床上浸水に備える（人命・生活・家財・設備機器を守る）、材料や工法などを工夫する（耐水性のある材料・工法、取り替えやすい材料・構法、乾燥しやすい材料・構法）、排水や残留物の除去に備える（床下の排水のための工夫）、等の方法が解説されているが、各論にとどまり具体的な計画案の提示はなされていない。

その後、洪水による建物被害の発生が一時的に減る中、建築物の水害対策の取り組みは滞ったが、近年の水害の頻発を受けて、「耐水害住宅」の実大実験^{注6)}が行われるなどの動きが見られる。

1.2 浸水被害・修復事例に関するヒアリング等調査

浸水家屋の被害の状況や、修復の手順、修復が容易となる計画上

図1 床上浸水を未然に防ぐ方法（参考文献8）をリライト）

¹⁾ (国研) 建築研究所住宅・都市研究グループ 博士 (工学)
(〒305-0802 茨城県つくば市立原1)
²⁾ (国研) 建築研究所住宅・都市研究グループ 博士 (環境学)
³⁾ (国研) 建築研究所材料研究グループ 博士 (農学)
⁴⁾ (佛現代計画研究所 修士 (工学))
⁵⁾ 国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部 博士 (工学)

¹⁾ Building Research Institute, Dr. Eng.
²⁾ Building Research Institute, Dr. Env.
³⁾ Building Research Institute, Dr. Agr.
⁴⁾ Gendaikikaku Architectural & Planning Office, M. Eng.
⁵⁾ National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, Dr. Eng.

の工夫等を聴取し、一部現地調査した。対象は近年、浸水に遭った、①茨城県常総市、②岡山県倉敷市、③広島県三原市・④坂町及び、⑤長野県長野市において、被災住宅の復旧・修復を経験した建築技術者、ボランティア支援者、居住者等である（表1）。地区の被害状況は、①破堤または土石流発生地点付近で大破壊を伴う（④～⑤の一部）、②土砂災害由来の瓦礫や土砂を多く含む泥水が流入（③の一部及び④の殆ど）、③水流や土砂は少なく水位上昇に伴い浸水（⑤以外の殆ど）、に分かれ、以降では事例の多い③を主な対象とする。

床上浸水では、初期排水、家財の撤去処分、床・壁仕上材・下地材・断熱材の撤去、洗浄・排水・消毒・乾燥を行った後、新たな下地、断熱、仕上げが施工される。浸水部分のカビ等の発生は早く、排水・乾燥開始が早期に必要となる。一方、被災後は大工・工務店の人員が限られ、直ちに多数の被災家屋の復旧への対応は困難で、居住者やボランティアによる作業が主となる場合も多い。使える器材や、技能、情報が限られ、技術的に複雑な作業は難しい面がある。

仕上材・下地材の撤去範囲は、部材の構成と施工の都合から、被害を生じた範囲より過大となる傾向がある。特に、近年の厚板合板と接着剤併用の床材は撤去しにくく、復旧に費用と時間を要するため、床下や軽微な床上の浸水では、床板を全面撤去せずに、床下で洗浄・排水、消毒、乾燥した例も見られた。外壁通気層内への泥水の浸入が疑われる浸水事例も多く見られた^{注3)}が、資金的制約等から、外観上で破損のない外壁の撤去・再施工までは行われていない。

浸水高さが低い場合でも、木質系家具、住設機器、床置き家電製品など、家財の損害は大きい。しかしながら市街地部では、被災後に建て替える場合でも、浸水対策としての敷地の嵩上げは、近隣との関係や日常利便の観点から積極的には取り組まれていない。

1.3 浸水対策技術等に関するヒアリング調査

耐水害住宅を開発している住宅メーカー、止水部材や外装材を開発している建材メーカーに、各種外装部材の耐水性、浸水時の水密性についてヒアリング（後者は電話ヒアリング）した結果を示す。

現時点では、市場で入手可能な外装材・下張り材・サッシの多くは浸水時の水密性や浸水後の継続使用性が検証されていない。開口部に設置する止水部材も、完全な水密性を持つものではなく、掃出窓（幅1.8m）に適した止水板の止水高さは概ね1.0mで、既製品の多くは規格、納まり、価格等の点で木造住宅を想定していない。

2. 計画検討

2.1 非耐水化案・耐水化案の基本的な考え方

基準となる非耐水化案を設定した上で、1. を踏まえて、資産被害軽減を指向した3つの耐水化案を検討する。対策の費用対効果を

表1 浸水被害・復旧事例のヒアリング概要

水害事象	被災建物の場所	実施日	対象
平成27年9月関東・東北豪雨	①茨城県常総市	2020年1月	工務店（建築士）
平成30年7月豪雨	②岡山県倉敷市	2019年10月	工務店（建築士） 建築士（2名）
	③広島県三原市	2020年1月	工務店（建築士） 建築士（2名）
	④広島県坂町	同上	工務店（建築士） 電気工事士 居住者（2名）
令和元年東日本台風	⑤長野県長野市	2020年2月	建築系大学研究者 ボランティア支援者

比較できるように、耐水化に伴う変更以外は原則同じ平面計画・性能とした。各案の耐水化の考え方に沿って、a.浸水の防止、b.復旧の円滑化、c.耐水性の向上、の観点から具体的方針を検討した（表2）。

A案（非耐水化）：近年、都市部の市街地に新築される木造戸建て住宅として、一般性の高い計画案とする。コスト比較のため、平面の変更を伴わずに、基礎と部分的な仕様変更で耐水化案に置き換え可能な計画とする。1階に居間・食堂・台所等の公室及び、洗面脱衣室・浴室（ユニットバス）・便所等の水回り諸室を配置し、2階に私室を配置する。仕上げと仕様は、一般性のあるものとする。

B案（修復容易化）：“Wet Floodproofing”の概念に基づく耐水化案とし、建物内部への浸水を許容した上で修復の円滑・低廉化に重点を置く。対策として、浸水防止性の改善と床下作業性の向上、部材構成等における復旧範囲の限定（道連れ工事の減）等を考慮する。

C案（建物防水化）：“Dry Floodproofing”を建物防水により実現する耐水化案とし、建物内部への浸水を防ぎ、建物・家財の被害軽減を図る。開口部への対策箇所数を減らし浮力が大きくならないように、腰窓下高さまでを止水範囲とし、浸水防止を図る。対策として、腰壁と腰壁開口部の止水性を高め、排水管の逆流防止等を計画する。

D案（高床化）：“Dry Floodproofing”を高床によって実現する耐水化案とし、基準案の腰壁高さまで1階の床高を高基礎により持ち上げることで、床上浸水を防ぎ、建物・家財の浸水被害を軽減する。

2.2 非耐水化・耐水化案の仕様と計画内容

2.1 の方針に基づき各案の具体的な計画を検討の上、建築コスト等の算定に必要な、仕上表及び一般図、矩計図、設備プロット図等の設計図面を試作成した。代表的な平面・立面・断面図を図2に、以下の丸数字の説明に対応する部分の詳細図を図3に示した。

A案（非耐水化）：耐水化案（B～D案）の基準となる非耐水化案として普遍性の高い仕様とし（表3）、性能は耐水化案においても大きく変えない原則とした。長期優良住宅（新築）認定基準レベルの性能を有する計画とし、耐震等級は住宅性能表示制度の3レベル、断熱等性能等級は4レベル（現行省エネ基準の「5地域」を想定）と

表2 非耐水化案と耐水化案の考え方と比較

目的	方法	非耐水化案 A案：基準案	耐水化案（非耐水化案との相違）		
			B案：修復容易化	C案：建物防水化	D案：高床化
a. 浸水の防止	a1. 止水高さの引上げ	・基礎立上りに床下換気口	・外周基礎立上りは無開口（ネコ土台）	・腰壁の防水化（床下換気口なし） ・腰壁開口部の防水化 ・排水管の逆流防止	・高基礎化による1階床高の引上げ（床下換気口位置も引上げ）
	a2. 機能損失の回避	・電気設備類の高所設置なし	・電気設備類の高所設置	・電気設備類の高所設置	・電気設備類の高所設置
b. 復旧の円滑化	b1. 作業性の向上	・一般的な床高 ・最低限の床下点検口	・床下有効高さの増 ・床下点検口の増設 ・排水性の向上 ⁽⁴⁾	・床下点検口の増設 ・排水性の向上 ⁽⁴⁾	・床下有効高さの大幅な増 ・床下点検口の増設 ・排水性の向上 ⁽⁴⁾
	b2. 復旧範囲の限定化	・床撤去が壁にも影響（納まりが「床勝ち」のため）	・床撤去の壁への影響回避 ・限定的な壁復旧に対応	・床撤去の壁への影響回避	・床撤去の壁への影響回避
c. 耐水性の向上	c1. 浸水の影響を受けにくい素材の選定	・接合金物のみ防錆処理 ・吸水性の高い断熱材	・釘・接合金物は防錆処理 ・吸水しない床断熱材	・釘・接合金物は防錆処理 ・吸水しない基礎断熱材	・釘・接合金物は防錆処理

した。屋根及び外壁は建築基準法22条区域を想定した構造とした。
B案（修復容易化）：復旧の円滑化を目的とするB案では、浸水後の床下の点検・排水・洗浄・消毒・乾燥等の、作業性向上に配慮した。

まず、1階床高（1FL）を非耐水化（A）案より200mm引上げ（GL+800mm）、床下有効高さを600mm以上確保した（ネコ土台）。初期排水・洗浄に資するため、水中ポンプを置いて排水するための釜場を床下点検口の下に設け（①）、基礎に水抜きスリーブ（②）を設置した^{注4）}。耐水性向上のため、床断熱材を繊維系から発泡ボード系に変更し、浸水後に取り外して洗浄・再使用可能な設えとした。

さらに、復旧時の修復範囲を限定できるよう、壁部材（断熱・下地・仕上）の見切り分割（③）を行い、電気設備（コンセント・空

表3 A案（非耐水化）の基準仕様

面積	建築面積	53.71㎡
	延床面積	99.38㎡(1階49.69㎡・2階49.69㎡)
高さ	最高高さ	7.300m
	軒高さ	5.750m
構造	基礎形式	RCベタ基礎・床下換気口
	耐力壁	構造用合板
断熱	屋根・壁	高性能グラスウール（充填断熱）
	床基礎	高性能グラスウールボード 押出法ポリスチレンフォーム3種B（浴室廻り）
外部仕上	屋根	桧瓦葺き・4寸勾配
	庇	金属板葺き・2寸勾配
	外壁	窯業系サイディング（通気工法）
内部仕上	開口部	アルミ・樹脂複合サッシ
	床	構造用合板下地・複合フローリング仕上
	内壁設備他	石膏ボード下地・ビニルクロス仕上 照明器具、システムキッチン、ユニットバス、洗面台（各階）、トイレ（各階）、ガス給湯器、AC5台、床下点検口2ヶ所、外部デッキ

図2 非耐水化案・耐水化案 平面図・立面図・断面図（抜粋）

図3 耐水化手法 部分詳細

調室外機等)を見切り高さ(1FL+900mm)以上での設置とした。
同様に、床板・壁板等の納まりを壁勝ち(④)とした。

C案(建物防水化)：浸水の防止を目的とするC案では、1階外周の腰壁(1FL+900mmまで)を、防水性を有するRC造とした。水圧及び浮力(最大GL+1,500mmに達する浸水深を想定)に対抗するため、腰壁及び底盤の厚さは150mmから200mmに増やした^{注5)}(⑤)。

玄関扉及び掃出窓2ヶ所に脱着式止水板(6段式、最大10kg/枚程度)、勝手口に鋼製止水ドア及び断熱内窓を設置し、止水板や止水ドアからの漏水(1時間当たり合計80ℓ程度)は床ガラリーを介して床下に排水する設えとした^{注6)}(⑥)。これらに対応するため、RC腰壁部は外貼り基礎断熱とし、防蟻剤処理断熱材を採用した(⑤)。

D案(高床化)：浸水の防止を目的として、1階床高(1FL)を高基礎により非耐水化(A)案より900mm持ち上げ(GL+1,500mm)、配筋を考慮して立上りと底盤の厚さは200mmとした。外階段が6段となり、日常時の生活利便に著しい影響を生じる点に留意を要する。

3. 建築コストと修復費用

3.1 建築コストの算出

A案(非耐水化)：作成した計画案に基づき、実際に広島市近郊で地域工務店が建設した、同等仕様の木造戸建て住宅の内訳をベースに、同工務店の協力を得て費用を算出した。直接工事費が19,739千円、諸経費・税込みの建築コストが26,055千円となった(土地取得、設計監理、各種申請、外構工事等の費用を含まず)。

B～D案(耐水化)：修復容易化(B)案及び建物防水化(C)案については、非耐水化(A)案と同じ工務店の協力を得て建築コストを算出し、高床化(D)案は、各計画案の内訳を基に概算した。表4右側の列に、非耐水化(A)案との差分を「追加的費用」として内訳別に示した。コストは、「修復容易化(B)＜高床化(D)＜建物防水化(C)」の順で大きくなった。修復容易化(B)案の追加的建築コストはわずかで、建物防水化(C)案は腰壁のRC造化や止水板等の整備、高床化(D)案は基礎コンクリート躯体の増が、コスト増の主因である。

3.2 修復費用算定の前提条件の整理

浸水被害等の態様を、1.2を踏まえて次のように想定する。a.中下流域の河川氾濫による水害で、土石流はない。b.水位上昇は緩やかで、強い水流や浮遊物による窓や壁面等の破損はない。c.浸水継続時間は24時間以内とする。

修復費用算定の前提とする浸水レベルは、A～C案で次の4段階を想定し、D案は高さを揃えた(図4)。**Lv.1：**床下レベル。土台に達しない1FL-150mmまでの浸水。床下への土砂の堆積は5cm未満^{注7)}。**Lv.2：**床上～腰窓下端レベル。

表4 非耐水化案とのコスト比較 (単位：千円：B～D案はA案との差分)

内訳	A案 非耐水化	B案 修復容易化	C案 建物防水化	D案 高床化	備考
構造	4,127	+23	+1,069	+1,329	基礎・RC腰壁等
断熱	315	+18	+226	±0	外貼り基礎断熱等
外部仕上げ	2,889	±0	+578	+280	サイディング・デッキ等
開口部	694	±0	+1,884	±0	止水板・止水扉等
内部仕上げ	3,348	+95	+235	±63	見切縁・点検口等
設備等	5,351	+57	+92	+57	空調室外機壁掛け等
その他	3,015	+180	+540	+24	仮設・大工手間等
直接工事費	19,739	+373	+4,624	+1,753	
建築コスト (経費・税込)	26,055	+493 (26,548)	+6,104 (32,159)	+2,314 (28,369)	経費率20% 消費税10%
コスト比	100%	101.9%	123.4%	108.9%	

Lv.1を超え、腰窓下端(1FL+900mm)までの浸水。床上土砂堆積は5cm程度。**Lv.3：**腰窓下端～上端レベル。**Lv.2**を超え、腰窓上端(1FL+2000mm)までの浸水。床上への土砂の堆積は1cm未満。なお、計画した浸水対策は意図通り機能することを前提とする。

修復作業の手順は、ヒアリングや文献¹⁰⁾を参考に、以下を想定した。①基礎内部に溜まった汚水を排水し、堆積した土砂を排除する。②浸水した断熱材・下地材・仕上材・設備機器等を、取外して廃棄する。③基礎内部、床下、壁内、再使用可能な建材等を水道水で洗浄し、排水する。④浸水部分を次亜塩素酸ナトリウム希釈液で水拭きし、消毒する。⑤送風機の24時間稼働を1ヶ月程度行い、木材等を乾燥する。⑥必要な資材・設備等を調達し、取付ける。

3.3 浸水時の修復費用の算定

以上の前提を踏まえ、水害被災家屋の復旧経験のある工務店への

図4 浸水レベルと浸水範囲の想定

表5 浸水レベル別の修復費用の低減効果 (単位：千円。B～D案の金額はA案との差分。)

基準案・耐水化案		A 案：非耐水化			B 案：修復容易化			C 案：建物防水化			D 案：高床化		
浸水レベル		Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	Lv.3
GL高さ（mm）		0～450	450～1500	1500～2600	0～650	650～1700	1700～2800	0～450	450～1500	1500～2600	0～450	450～1500	1500～2600
基礎・床	共通① 初期排水	200	200	200	-75	-75	-75	-200	±0	±0	-200	-125	-125
	基礎土間・立上り	50	25	25	-12	±0	±0	-50	±0	±0	-50	+50	+50
	床断熱材	—	172	172	—	-69	-69	—	-172	-172	—	-172	±0
	土台・大引	—	50	50	—	±0	±0	—	-50	±0	—	-50	±0
共通②	床仕上・巾木、床下地合板	—	591	591	—	±0	±0	—	-591	±0	—	-591	±0
	消毒	—	113	125	—	-28	±0	—	-63	±0	—	-113	-40
	乾燥	—	25	25	—	±0	±0	—	±0	±0	—	-25	±0
	外壁仕上げ	20	20	20	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0	±0
内外壁	内壁仕上・下地、壁断熱材	—	571	571	—	-315	+20	—	-571	-9	—	-571	±0
	柱・間柱・耐力壁合板	—	74	99	—	±0	±0	—	-74	±0	—	-74	-74
建具・家具等	扉・サッシ	—	25	50	—	±0	±0	—	±0	±0	—	-25	-25
	内部建具・造作家具・階段	—	914	914	—	±0	±0	—	-914	±0	—	-914	±0
電気設備	足元照明、コンセント	—	87	134	—	-87	±0	—	-87	±0	—	-87	-47
	スイッチ等、分電盤	—	—	265	—	—	±0	—	—	±0	—	—	-265
衛生設備	キッチン	—	771	918	—	±0	±0	—	-771	±0	—	-771	-147
	洗面化粧台、ユニットバス	—	710	710	—	±0	±0	—	-710	±0	—	-710	±0
空調設備	トイレ	—	183	183	—	±0	±0	—	-183	±0	—	-183	±0
	室外機	105	105	105	-105	-105	+34	-105	-105	+34	-105	-105	+34
修復工事直接工事費計		375	4,636	5,157	-192	-679	-90	-355	-4,291	-147	-355	-4,466	-639
①修復費用計（経費・税込）		495	6,119	6,806	-253	-897	-118	-469	-5,664	-193	-469	-5,895	-842
②建築コスト（経費・税込）		26,055				+493				+6,104		+2,314	
浸水1回当たり回収率：①/②（%）		—	—	—	51%	182%	24%	8%	93%	3%	20%	255%	36%

洗浄・排水等 洗浄後再使用 消毒・乾燥 更新 作業不要

ヒアリングに基づき、修復に係る作業量と費用を積算した^{注8)}。耐水化案の非耐水化案に対する修復費用の差額を「被害軽減効果」とし、耐水化案の追加的費用に対する割合をコストの「浸水1回当たり回収率」として、表5に示した。以下、浸水レベル毎に概観する。

Lv.1 (床下)：修復容易化 (B) 案の被害軽減効果が追加的費用の半分程で、床下浸水が複数回発生する場合に大きな効果が期待できる。

Lv.2 (腰窓下端以下)：建物防水化 (C) 案・高床化 (D) 案とも床上浸水が生じないが、追加的費用を考慮すると後者が有利である。前者の被害軽減効果は追加的費用を下回るが、家財の被害を見込めば回収可能と考えられる。修復容易化 (B) 案は被害軽減効果が追加的費用を上回るが、修復の工事費用が大きく、生活影響も生じる。

Lv.3 (腰窓上端以下)：修復容易化 (B) 案・建物防水 (C) 案とも1階の過半が浸水し、修復費用が非耐水化 (A) 案と同程度となり、特に被害軽減効果を期待できない。高床化 (D) 案は、1FL+1100mm程度に達する浸水でも電気設備や空調室外機等の被害は免れることなどから、一定程度の被害軽減を見込むことができる。

4. 費用対効果に関する試算

4.1 浸水深別建物・動産被害額

各案の浸水時の修復費用を建物被害額とし、建物内外の動産も考慮した、浸水深別に想定される資産被害額を算定した (図5)。動産については、所有や鉛直方向の分布等の状況を仮定する必要があるため、ここでは既存研究¹¹⁾の資産の鉛直分布モデルの値 (延床面積比で低減) を用いた^{注9)}。

例えば (GL+) 130cmの浸水深においては、A案13,141千円の被害額に対し、B案:896千円、C案:8,349千円、D案:8,580千円の軽減が認められる。

4.2 発生頻度を考慮した適用性評価

発生頻度毎の最大浸水深の予測値を用いて、耐水化の費用対効果を評価する。滋賀県「地先の安全度マップ」で公開されている、異なる降雨確率に基づく内外水氾濫の想定浸水深 (50mメッシュ) に相当するデータを使う¹²⁾。

一定の浸水リスクがあるメッシュを、2年確率の最大浸水深が50cm未満、200年確率で50cm以上、世帯数1以上、の条件で抽出し対象とする^{注10)} (図6)。

100年確率で、最大浸水深50～150cmのメッシュが約6割となる。文献¹¹⁾に示された方法により、当該メッシュの生起確率別の最大浸水深に対応する被害額を元に、確率年区間毎の期待被害額を算定して合計することで、各案の建物建てたときの年平均の被害額 (期待値) が推算できる。非耐水化 (A) 案と耐水化 (B～D)

案の平均被害額の差額が、年間当りの耐水化による被害軽減額 (期待値) であり、耐水化に伴う追加的費用をこれと除することで、耐水化費用の平均回収年数が計算できる (図7)。対象メッシュの内、修復容易化 (B) 案は約2/3で平均10年以内、建物防水化 (C) 案は約1/4で平均20年以内、高床化 (D) 案は約1/2で平均20年以内に、それぞれ耐水化に伴う追加的費用の回収が期待できる計算となる。

上記メッシュを、各案の効果が見込まれるメッシュと考え、それらの浸水特性等から各耐水化案の適用性を評価する。僅かなメッシュを例外として、①全耐水化案効果あり、②B・D案効果あり、③B案のみ効果あり、④全耐水化案効果なし、の4タイプに分かれる^{注11)}。各タイプの確率年別の最大浸水深の平均値を図8に示す。この平均値に基づく、各案の期待被害額の合計と確率年区間別を図9に示す。

特に非耐水化 (A) 案のLv.2にほぼ相当する、最大浸水深50～150cm (Lh.) に着目する。①では10年確率でLh.に達し、非耐水化案の期待被害額は確率年区間2～10年が飛び抜けて大きい。②では30年確率でLh.に達し、非耐水化案の期待被害額は確率年区間10～30年が大きい。③④では100年確率でLh.に達し、非耐水化案の期待被害額は確率年区間50～200年が大きい、①②と比べれば小さい。①と③の主な違いは30年確率で生じる床下浸水の有無である。全体に、高頻度に発生する最大浸水深50～100cmの事象の影響が大きい。

図5 浸水深別の建物・動産別被害額 (修復費用) の比較

図6 対象メッシュの確率年別最大浸水深

図7 耐水化費用の回収年別メッシュ割合

図8 各タイプの浸水特性

図9 各メッシュタイプにおける建築計画案の確率年区間別の生起確率×被害額

5. 結論

5.1 まとめ

木造2階の戸建て住宅の耐水化案を3案検討し、実現に要する追加的費用と、耐水化の効果としての浸水時の資産被害の軽減額等を試算し、浸水対策の費用対効果等を分析し、以下の知見を得た。

- ・3案とも、敷地の浸水特性に応じて、一定の適用性が認められる。
- ・費用対効果の観点からは浸水深50～100cm、確率年2～50年程度の浸水事象の影響が大きく、これによる被害の低減が肝要となる。
- ・建物防水化等の建物内への浸水防止に際して浮力を無視できない。
- ・浸水リスク情報として浸水想定区域図の他に、生起頻度別の最大浸水深のデータを利用できれば、浸水対策の効果を検討できる。

5.2 耐水化建築計画案に対する考察

検討を踏まえ、3つの耐水化案について考察を加える。

修復容易化案：発生頻度の高い、浅い浸水被害に対する費用対効果が最も優れる対策案であり、多少の浸水リスクのある地域で最低限講じるべき手法と推奨される。修復工事期間中の生活継続が課題となるので、2階等で生活可能となれば、より効果的な計画案となる。

建物防水化案：腰窓以下の床上浸水に対して、一定の費用対効果が見込まれる。高床化案と共通するが、浸水に伴う家財の損害、生活上の制約、精神・肉体的被害の防止・軽減が図られ、災害ゴミの処理に伴う社会的負担も減らせる。今回の検討案は高床化案に対して費用対効果は劣るが、日常の出入りや周辺環境影響の制約等から、市街地での適用性が高いと考えられる。普及には、低廉で信頼性の高い壁面・開口部の止水方法の開発が望まれる。また、浮力や開口部の数を考慮すると、腰窓下が対策高さの一つの目安になる。

高床化案：1階レベルの洪水への費用対効果が最も高い計画案で、大きく被害を軽減できる。より高い浸水にも、2階避難で生命が安全となる。狭小敷地への対応と、日常の上り下りや、周辺環境影響等の考慮も必要であり、非都市部での適用性が高いと考えられる。

以上の他に、検討した計画案に対して、敷地の嵩上げや、屋上への避難などを組み合わせた耐水化案の可能性も考えられる。

5.3 戸建て住宅の浸水対策の普及に向けて

今回、検討を行った耐水化案は、浸水対策の費用対効果と適用性を検討するためのプロトタイプであり、本検討の結果等を踏まえて、今後、他の耐水化案の検討や、計画・部材設備・生産システムにわたる技術開発の進展を期待したい。また、制度・仕組みに関わる課題としては、客観的な耐水性能の評価システムや、損害保険制度の対応、建築・土地利用の規制・誘導制度との連携、費用対効果を検討できる浸水リスク情報の提供、について指摘しておきたい。

なお、紙面の都合で省略した詳細は、所属先より公表予定である。

謝辞

滋賀県立大学の瀧健太郎教授に、地先の安全度マップの関係データの利用にあたって便宜を図っていただいた。感謝申し上げる。

補注

注1) 例えば、社会資本整備審議会答申「水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会～」2015年8月

注2) 英¹⁾、米²⁾、仏³⁾、独⁴⁾等。EUでは、建築空間における浸水防止技術の標準化を検討する、共同研究プロジェクト“SMARTeST”が2010年1月～2013年6月に実施され⁵⁾、関係国の取り組みに影響を与えている。

注3) 建材メーカー等によれば交換が望ましいとのことであったが、通気

層内の被害状況と復旧事例の情報は得られず、本研究における計画案では復旧対象とはしない。今後の調査が待たれる。

注4) 基礎底面への釜場の設置による排水性向上のため、費用を要する水勾配は設けない。水抜きスリーブは、基礎施工時に設けるものを浸水時に簡易に穿孔可能とし、平時は水・白蟻の浸入防止のため塞ぐ。

注5) 浮力：785.0kN、建物重量：基礎・腰壁部564.0kN＋上部構造276.3kN

注6) 浸水が24時間継続した場合の、基礎内部への漏水深さは43mm。

注7) 修復容易化（B）案はネコ土台で、正確にはGL630～650mmで床下浸水。

注8) 次の前提とした。家財道具の搬出等作業は含めない。居住者の自力作業やボランティア支援等を考慮せずに、作業を全て工務店が請け負う。災害後の工賃や資材費用は値上がりしない。工務店の経費率は新築と同様。解体廃棄物は災害ごみとして扱われ（自治体等負担）、廃棄費用は収集・運搬に係る作業費のみを見込む。乾燥及び外部洗浄に係る作業費は、浸水深によらず一定。1.2を踏まえ、浸水対策未実施の木造壁等は、床上浸水時に断熱・下地・仕上材等を全面交換。

注9) 非耐水化（A）案は、浸水深（GLを基準）に応じて、30cmで自動車・バイク、50cmでカーペット、100cmで冷蔵庫・ソファ・スポーツ用品、150cmで調理家電・ビデオカメラ、等の被害額を計上し、耐水化（B～D）案では浸水対策に応じて変化させている。

注10) 全14,231メッシュ。内、7,623メッシュ（54%）が用途地域内。また、「無破堤」「越水破堤」「HWL（計画高水位）破堤」の3シナリオの内、一般に7割を占めると言われる「越水破堤」のデータを使用。

注11) 各タイプのメッシュ数は、①1,473、②2,888、③5,044、④4,787。

参考文献（インターネットサイトは2020/6/1に最終閲覧）

- 1) Ministry of Housing, Communities & Local Government: Improving the Flood Performance of New Buildings; Flood Resilient Construction, 2007.6 <https://www.gov.uk/government/publications/flood-resilient-construction-of-new-buildings>
- 2) Federal Emergency Management Agency: Protecting Your Home And Property From Flood Damage; Mitigation Ideas For Reducing Flood Loss, 2010.10 <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/21471>
- 3) Ministère de l'égalité des Territoires et du Logement et al.: Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant, 2012.6 <https://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/08/referentielInondation.pdf>
- 4) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Hochwasserschutzbibel; Objektschutz und bauliche Vorsorge, 2016.8 <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ministerien/BMUB/VerschiedeneThemen/2016/hochwasserschutzbibel-auflage-7-dl.pdf> 英訳有
- 5) Stephen Garvin et al.: SMARTeST; Flood Resilience Technologies, 2013 https://www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER_Projekte/PDF/FB_R/Flood-Resilience-Technologies_SMARTEST-Project_D23-final-July13.pdf
- 6) 吉野文雄ほか：総合治水対策としての建築物の耐水化の技術的検討、土木技術資料、Vol.23, No.7, pp.343-348, 1981.7
- 7) Yokota, N., et al.: Study on Regional Characteristics with Flood Control Construction in Flood Prone Area; A case study Tonegawa, Arakawa, Oigawa, Shinanogawa, Ibigawa and Yodogawa, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Vol.81, No.727, pp.1929-1937, 2016.9 (in Japanese) 横田憲寛ほか：水害常襲地域における建築的減災対策に見る地域特性に関する研究、日本建築学会計画系論文集, Vol.81, No.727, pp.1929-1937, 2016.9
- 8) (財)日本建築防災協会：家屋の浸水対策マニュアル；わが家の大雨対策 安心な暮らしのために、家屋の浸水対策ガイドブック；安心な暮らしのために、2001.7
- 9) (国研)防災科学技術研究所、(株)一条工務店：世界最大級の大型降雨実験施設によるゲリラ豪雨・洪水対策の「耐水害住宅」公開実験について <https://www.bosai.go.jp/info/press/2019/20190913.html>
- 10) (株)日経BP：災害事例に学ぶ浸水住宅の再生術11カ条、日経ホームビルダー、pp.53-64, 2020.3
- 11) 国総研気候変動適応研究本部：気候変動下の都市における戦略的水害リスク低減手法の開発、国土技術政策総合研究所資料, No.1080, 2019.7 (「3.1 建物の浸水被害及び対策効果の評価手法の開発」 pp. 51-86)
- 12) 瀧健太郎ほか：中小河川群の氾濫水理解析に基づく地域防災力向上戦略の検討、河川技術論文集, No.25, pp.79-84, 2019.6

[2020年6月2日原稿受理 2020年7月20日採用決定]