

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：82602

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360284

研究課題名（和文） 密閉化された床下構造の浸水被害と室内環境への影響に関する研究

研究課題名（英文） Indoor Environment and Health Effects in Water-Damaged Houses after Flooding

研究代表者

大澤 元毅（OSAWA HARUKI）

国立保健医療科学院・統括研究官

研究者番号：20356009

研究成果の概要（和文）：近年地球温暖化に伴って拡大傾向にある水害が、省エネと居住性改善をめざして断熱気密性の高められた住宅へ及んだ場合に、建物と居住者の健康が被る影響について、アンケート、実測調査等により明らかにし、的確な対策立案に資する知見整備を行った。アンケート調査から、浸水後の住宅において、高湿度感、カビの発生、健康の悪化が有意に見られる結果となり、浸水の室内環境の影響が示唆された。更に実態調査においては、床下における付着真菌及び VOC 濃度が浸水住宅の方が高い値を示した。また、コンクリート試験体を用いた実験とシミュレーションにより、放湿・乾燥の状況を把握・予測するための知見を蓄積した。

研究成果の概要（英文）：To mitigate the indoor environmental and health damages in water-damped houses after flooding, the mechanisms and real situation were investigated by questionnaire and field measurements. From the questionnaire survey, water damaged houses by flooding could affect dampness, generation of fungi under floors and health effects. From the field experiment, flooding could cause the increase for fungi on surface of under floors and MVOC emission. Also characteristics on moisture movement in rigid concrete was investigated by experiments and simulations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2011 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築環境・設備

キーワード：水害，室内空気質，ダンプネス，微生物，化学物質

1. 研究開始当初の背景

かつては開放的な設えにより蒸暑気候に対処してきた我が国の住宅においても、省エネ性・快適性、或いは耐震性の強化をめざして、密閉性と断熱性を高める動きが進んでいる。なかでも基礎とその周辺では、開放的であった床下空間が、近年は透湿防水シート、防湿層などの面材や布基礎を用い、換気口や

基礎パッキンを設ける形式が一般化した。

また、地球温暖化により降雨の激甚化も予想されている。床上・床下浸水 2～3 万戸（台風が集中した 2004 年には 18 万戸以上）の水準が続いており、地球温暖化に伴う降雨の集中化と変動激化が進むなか、広域氾濫なども危惧されるように楽観を許さない状況にある。一方、都市域ではゲリラ豪雨など急激な

降水による内水氾濫など新しい形の水害が顕在化しており、汚水混入や土壌細菌等の浸水による建物内への流入の危険も加わるため、衛生上の問題は河川水の場合より深刻と考えられる。

さらに温暖化対策などから断熱・気密境界を外側に置く外貼工法や、床面から基礎を外側に移して、床下を室内側に取り込む基礎断熱工法などが現れ、浸水とその後の状況も大きく変貌している。

このように水害は建物構造と大きな関連を有し、居住環境の衛生・健康への影響が甚大なリスク要因であるにもかかわらず、従来の水害対策はもっぱら洪水時の直接的かつ短期的な災害に注がれ、衛生保健部門が事後にこれを支援することはあっても主対応は市町村の防災担当に委ねられてきた。事前の配慮や水が引いた後の中長期的な被害防止の視点が希薄で、既往の調査研究も極めて少ないことから、建築側或いは保健衛生当局の的確な対応戦略を見定めるため、独自の調査による知見の早急な整備が必要である。

2. 研究の目的

近年進展している外皮・基礎構造の変化が、水害(浸水)被災後の床下環境と居住者の健康に及ぼす影響(流入汚染物と含水によるカビ・臭気の発生、それに伴う環境の悪化や生活への影響)に着目し、ヒアリング及び実測調査等により実態について、その様相解明と的確な対策立案に資する知見蓄積を目的とする。

3. 研究の方法

かつてのシックハウス問題のように、局所・短期には合理的な技術の組合せが想定外の事態を招くことがないよう、設計から運用にわたる総合的なリスク構造の把握と管理対策技術の構築が必要と考え、建築工学、建築衛生及び公衆衛生の観点から蓄積が乏しい水害・湿害にかかわる事象について、下記のような手法により、多面的な検討を行うこととした。

1)被害実態と対応状況の把握

行政側の意識と対応の実情を探るため、防災・保健担当者へのヒアリングを実施した。また、住宅供給側の水害対策に係る意識と対応の実情を探るため、木質系住宅メーカー3社、鉄骨系工業化住宅3社の技術担当者を対象にヒアリングを行った。

2)被災住宅での健康影響に関するアンケート及び訪問調査

2004年～2010年に大きな床上・床下浸水被害を受けた地域の保健所を選定し、住民に対するアンケート調査の協力を得た保健所、また、事前のヒアリングで同調査の協力を得た市町を通じて、被災地域およびその周辺地域の住民に調査票を配付した。調査対象は、床上または床下浸水を受けた家屋、その対照として浸水被害を受けていない家屋の住民とし、各世帯の代表者1名に回答していただいた。主な調査項目は、世帯と家屋の基本属性、周辺環境、地域の防災体制、被災時の被害状況、半年後までの家屋や家財等の処置、半年後までの室内環境と健康状態とした。保健所は2010年8月～2011年2月、住民は2010年10月～2011年2月に調査を実施した。

3)浸水住宅の実測調査

被災住宅及び対照のための住宅、合わせて6地域42軒について簡易調査(居住者による温湿度自動測定機器の設置・回収、表面付着菌採取)を行った。更に10軒については、現地に赴いて実測調査を行った。測定項目としては、各住宅約1時間程度を要して、浸水被害のあった部屋を中心に、浮遊真菌(室内・外気)、床面付着真菌、化学物質などの測定を行った。また、床下への侵入が可能な住宅においては、床下における浮遊真菌、床面付着真菌、化学物質の捕集も行った。他に室内温湿度もモニタリングした。浮遊真菌及びVOCの実測を実施し、実態の把握を行った。

4)浸水後の床下環境予測法の検討

浸水後の床下湿度環境の予測として、浸水した基礎コンクリートからの放出過程について、実験によりパラメータの導出と検証を行い、そのモデル化を試みた。

4. 研究成果

1)被害実態と対応状況の把握

防災・保健担当者へのヒアリングを行った。ヒアリングの結果、保健所は水害後の消毒・貯水槽汚染調査及び衛生指導、避難所での健康管理、清掃支援等を担当し、災害対応の主体は一般に自治体の「災害対策会議」となることが多い。また、被災は低地など局所的であり、各自治体においてハザードマップ整備など情報提供も進んでいる。

建物の浸水に伴う影響について客観情報がないこと、短期的・即物的な人命・財産被害の防止が優先されることなどから、それに続く居住環境問題、健康影響に関する認識は希薄であった。

ハウスメーカーに対するヒアリングを行った結果、浸水を防ぐための工法・仕様の技術開発は行われておらず、対策マニュアルなどの整備例も少ないのが現状であった。また、水害対策に関する意識と基礎工法選択についてアンケート調査を行い、基礎パッキン使用による床下構造の密閉化が急速に進行している状況等を明らかにし、浸水後の乾燥の過程に問題があることが示唆された。

2)被災住宅での健康影響に関するアンケート及び訪問調査

被災住宅での健康影響に関するアンケートの結果、部屋の湿気は、浸水被害後にじめじめしている家屋の割合が急増し、半年後までに徐々にその割合は低下していた。ただし、半年後でも浸水被害を受けていない家屋と比べてその割合は有意に高かった(図1)。この傾向は、部屋のカビ(図2)でも同様であった。

居間の浸水レベルと浸水被害1週間後のカビの状況や健康状態では、浸水の程度が高いほど悪化していた(図3)。

以上のように、浸水被害後は、部屋の湿気、カビ、臭いが悪化した家屋が急増し、その割合は、浸水規模が大きくなるほど高くなった。浸水被害後は、清掃、消毒、乾燥、改装等の処置によって、徐々にその割合が減少したと考えられるが、半年後でも浸水被害がない家屋に比べて有意な差が観察された。従って、浸水被害後は、これらの処置を早期に実施することが重要であるが、長期間にわたり室内環境が悪化している原因については、さらに詳細な調査が必要である。

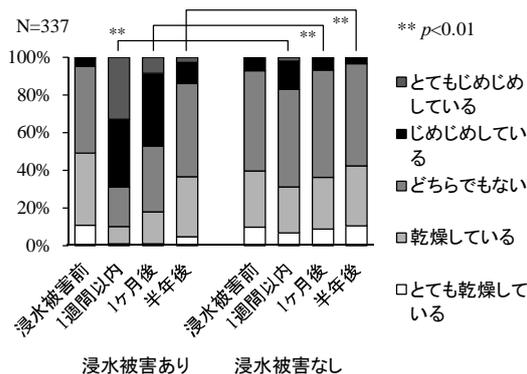


図1 部屋の湿気の状況

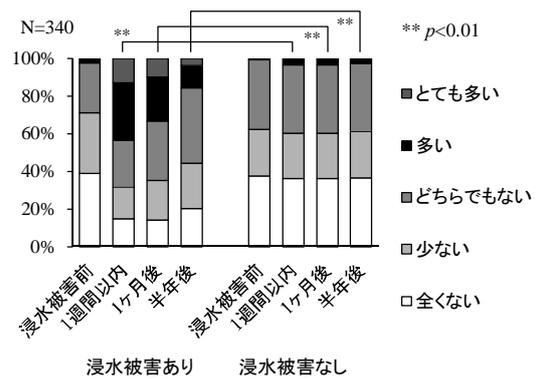


図2 部屋のカビの発生状況

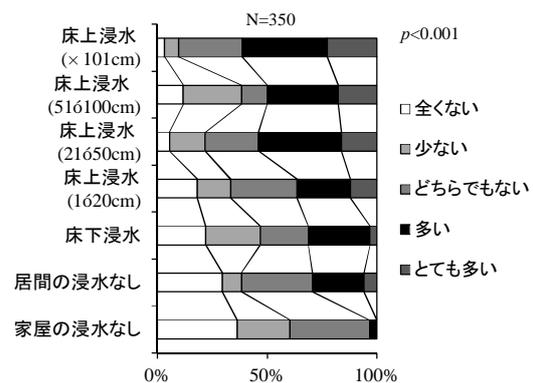


図3 居間の浸水レベルと水害1週間後のカビの状況

健康状態については、健康状態が良くないと回答した居住者の割合は、浸水被害後に急増し、半年後までに徐々にその割合は低下していた。ただし、半年後でも浸水被害を受けていない家屋と比べて有意に高かった(図4)。この傾向は、睡眠の状態でも同様であった。室内環境の悪化とともに、居住者の健康状態にも同様の影響が現れている可能性もあるが、人的あるいは物的被害に伴う精神的被害の影響も強いと考えられる。

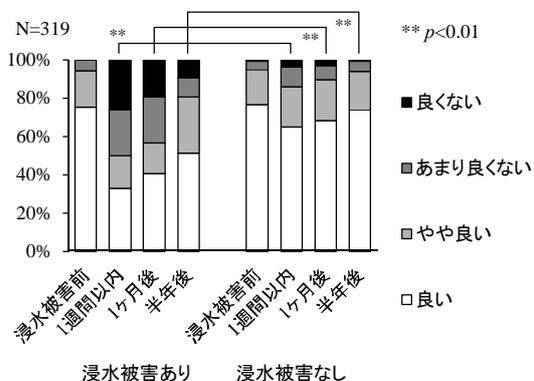


図4 健康状態

また、ヒアリング調査については、実測調査と同日に行った。浸水後の建物被害は分かりにくく、専門家の診断を受け、改修・建直しに至った例が多かった。床下へのゴミ・残材放置が見られることから、清掃復旧が十分にされていない場合が多いものと考えられた写真1のように、浸水住宅の床下においては、必ずしも適切な状態になっていないところもあった。



写真1 浸水住宅における床復旧状況例

3)浸水住宅の実測調査

居住者の方による、温湿度計を一定期間設置した結果について示す。温度の中央値については、床上が 25.8℃ (グループ 1)、25.5℃ (グループ 2)、26.6℃ (グループ 3)、空中が 26.4℃ (住宅に浸水あり)、27.0℃ (住宅に浸水あり、居間に浸水なし)、26.8℃ (住宅に浸水なし) になっており、浸水の有無による明確な差は見られなかった。

相対湿度の中央値については、床上が 73% (グループ 1)・75% (グループ 2)・69% (グループ 3)、空中が 71% (グループ 1)・69% (グループ 2)・67% (グループ 3) になっており、温度と同様に浸水の有無による明確な差は見られなかった。

また、居住者によって採取した浸水居室堆積真菌の結果として、図5に堆積真菌量、図6に堆積真菌属の割合を示す。図中の A, P, W.S, Eu, C, A.n, F, Y, My, etc はそれぞれ *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Wallemia.sebi*, *Eurotium sp.*, *Cladosporium sp.*, *Alternaria sp.*, *Fusarium sp.*, *Yeast, mycelia*, その他の略である。なお、回収した粘着テープのうち真菌量が0で、しかも測定した形跡のないものは採取が行われなかったか、上手く行えなかったものと判断し、比較の対象から除外した。平均床面堆積真菌量は住宅、グループ1の場合は 4.9cfu/cm²、グループ2の場合は 2.5cfu/cm²、グループ3の場合は 3.1cfu/cm² となり、グループ1の方が高い値を示した。主な菌種としては、*Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Yeast* などが検出された。

また、浸水被害有りの住宅では、特に好湿性真菌の *Cladosporium sp.* や *Yeast* が比較的多かった。今回、堆積真菌の採取において粘着テープによる方法がこのような調査においては有効であることが明らかになった。

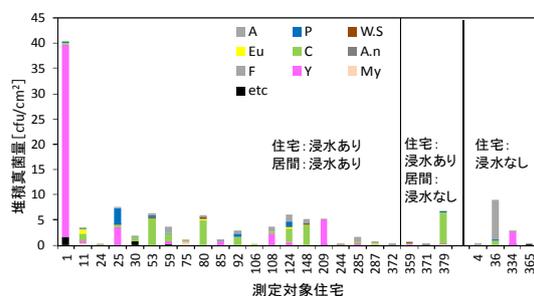


図5 床面堆積真菌量

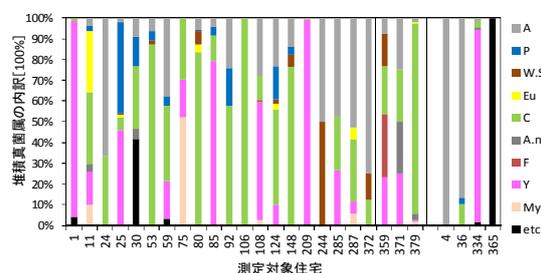


図6 堆積真菌種類の内訳

建物ごとには、温湿度に関しては寝室に 101cm 以上の浸水被害を受けた No.80 宅と、浸水被害を受けていない No.154 宅の間に顕著な差が認められた。特に No.80 宅では床面近傍の平均相対湿度が 83% と高くなったことで、床面堆積真菌として好湿性真菌の *Cladosporium sp.* が 5.0cfu/cm² 検出されたと考えられる。このことから、室内の温度制御、とくに気流の攪拌による床面近傍の温度の上昇、すなわち相対湿度の低下対策がカビ汚染の低減になることが示唆された。

図7に実際に現地に赴いて実測調査を行った住宅について、室内浮遊真菌濃度を示す。室内からは、いずれの住宅においても好湿性真菌の *Cladosporium sp.*, *Yeast* 及び好乾性真菌の *Aspergillus sp.* が検出された。80 宅, 108 宅, 287 宅, 244 宅は、室内浮遊真菌濃度が日本建築学会環境基準による室内の濃度の維持管理規準値である 1000cfu/m³ を超えた。特に 85 宅においては、居間を含む 2 室共に *Penicillium sp.* が高濃度に検出された。

図8に床面堆積真菌量を示す。床面堆積真菌に関しては、主に *Cladosporium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Yeast* が検出された。そして、床下環境の調査を行った浸水有りの 80 宅, 108 宅, 124 宅は共に室内の

床面よりも床下の方が10倍以上も堆積真菌量が多い結果となった。

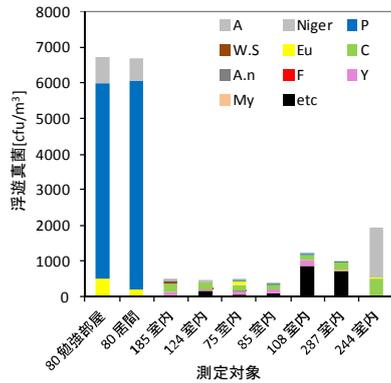


図7 浮遊真菌濃度

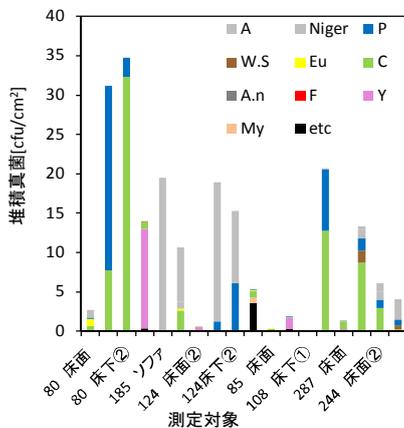


図8 床面堆積真菌濃度

浸水に伴うカビの発生により生成されるMVOC (Microbial Volatile Organic Compounds) による室内濃度への影響の可能性を検討するため、MVOCと考えられている物質の濃度を図9に示す。これらの物質は、カビ以外にも発生源は存在するが、80宅の居間、124宅の居間及び床下において1-ブタノールが、80宅床下において2-ブトキシエタノールが比較的高濃度で検出された。何れも浸水被害の住宅であるが、その他の住宅においては、被害のあった住宅でも非常に低い濃度であった。

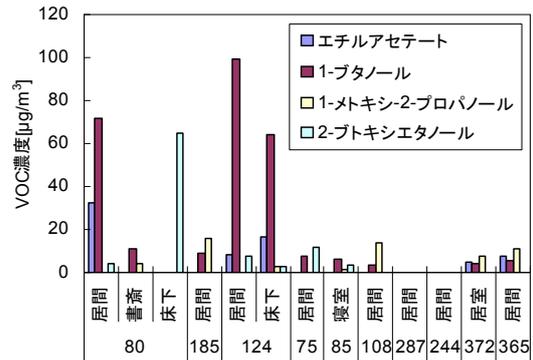


図9 MVOCに関連する物質の濃度結果

4) 浸水後の床下環境予測法の検討

コンクリート試験体を一定期間浸水させ、その後の放出過程について測定を行った。図10に示すとおり、時間経過とともに、表面と室内の絶対湿度の差が小さくなり、表面からの放湿がなくなる傾向となった。また、図11に示すように予測値と実験値はほぼ同等となり、モデルの妥当性が確認できた。最終的な床下環境の予測と対策提案のために、浸水後の床下コンクリートにおける水分移動(放湿過程)をモデル化し、部位実験と比較してその妥当性を検証した。なお、実験における浸透水分重量は757g/m²で、予測計算によれば乾燥期間を半減させるには床下換気量を10倍にしなくてはならないという結果を得た。(図12)

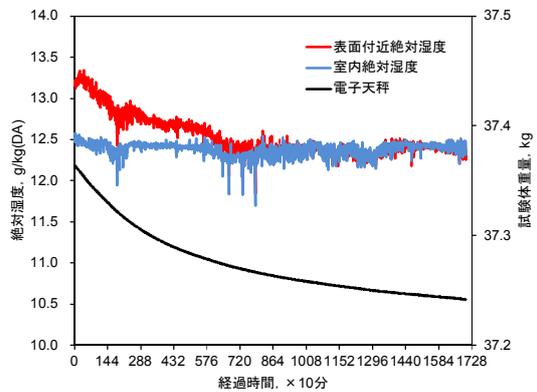


図10 水分の放出過程の経時変化

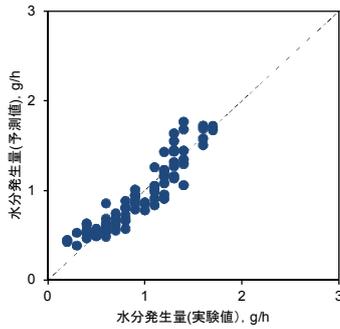
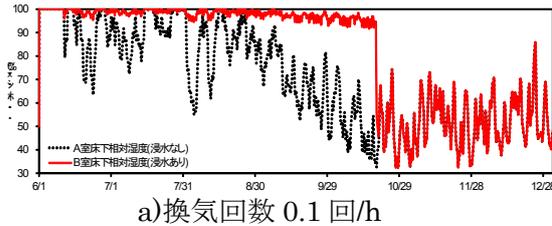
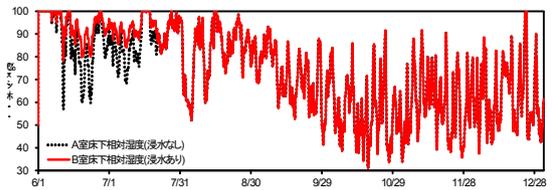


図 11 水分発生量の予測値と実測値の相関



a)換気回数 0.1 回/h



b)換気回数 1.0 回/h

図 12 コンクリートの乾燥過程
再現シミュレーション

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Kenichi Azuma, Koichi Ikeda, Naoki Kagi, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Haruki Osawa; International Society for Environmental Epidemiology. Health Effects of Exposure to Water-Damaged Homes after flooding in Japan, 2011, 査読有
- ② 東賢一, 池田耕一, 大澤元毅, 鍵直樹, 柳宇, 齋藤秀樹, 鎌倉良太; 建築物における衛生環境とその維持管理の実態に関する調査解析. 空気調和・衛生工学会論文集, vol.179, p19-26, 2011, 査読有り

[学会発表] (計 2 件)

- ① 大澤元毅, 鍵直樹, 東賢一, 池田耕一, 長谷川兼一, 柳宇; 密閉化された床下構造の浸水被害と室内環境への影響に関する研究 その1 研究概要と対策状況に関するヒアリング調査. 日本建築学会大会梗概集, 2011.8
- ② 東賢一, 池田耕一, 鍵直樹, 柳宇, 長谷川兼一, 大澤元毅; 密閉化された床下構造

の浸水被害と室内環境への影響に関する研究 その2 被災地域における保健所の対応状況と居住環境に関するアンケート調査. 日本建築学会大会梗概集, 2011.8

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

大澤元毅 (OSAWA HARUKI)

国立保健医療科学院・統括研究官

研究者番号: 20356009

(2)研究分担者

柳宇 (YANAGI U)

工学院大学・建築学部・教授

研究者番号: 50370945

鍵直樹 (KAGI NAOKI)

国立保健医療科学院・生活環境研究部

研究者番号: 20345383

東賢一 (AZUMA KENICHI)

近畿大学・医学部・講師

研究者番号: 80469246

長谷川兼一 (HASEGAWA KENICHI)

秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授

研究者番号: 50293494

(3)連携研究者

なし