

令和 5 年 10 月 24 日現在

機関番号：32702

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21039

研究課題名（和文）浸水被害に対応した建築物の設計法に関する基礎研究

研究課題名（英文）Design method of buildings for inundation damage

研究代表者

藤田 正則（Fujita, Masanori）

神奈川大学・建築学部・教授

研究者番号：30449368

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、浸水後も早期復旧が可能な建築物を目指して、仕上げ材などの止水性を考慮して洪水に抵抗できる木造家屋の要求性能を明らかにし、浸水被害に対応した設計法の枠組みを提案するものである。被害のあった建築物のうち、木造住宅を中心に床レベル、建物仕様などの調査を行い、浸水深との関係を分析した。さらに、木造住宅の構造材や仕上げ材の境界部の開口部に着目し、浸水深、開口長さ、開口部幅、開口部奥行きをパラメータとした浸水模型実験を行い、流量係数を提示した。さらに、上記の研究を踏まえて、建築物の木造の低層住宅を主な対象とした建築物の耐水設計の枠組みとするための耐水設計フローを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、建築分野での洪水への取組みは、地盤面を嵩上げや床面のレベルを高くするといった対応のみであった。わが国の全国各地に存在する浸水リスクの高い地域において、堤防の決壊などによる大きな浸水深や高流速の洪水に対して建築物の被害を低減させ、早期復旧を可能にするための設計法に関しては系統的な研究はほとんどない状況にあった。本研究は、浸水しても修復が容易で、浸水後も早期復旧が可能な建築物を念頭に、仕上げ材の止水性を考慮して洪水に抵抗できる木造家屋の要求性能を明らかにし、浸水被害に対応した設計法の枠組みを提案することである。

研究成果の概要（英文）：This study clarifies the required performance of wooden houses that can resist flood damages, considering the water proof of the finishing materials and joints of the frame, and proposes a framework for a design method to address inundation damage, aiming for buildings that can be restored as soon as possible after inundation damage. Of the damaged buildings, mainly wooden houses were surveyed for the relationship between floor levels, building specifications, and inundation depths were analysed. Furthermore, as performance requirements for wooden houses, we focused on the openings at the boundaries among the structures and finishing materials, conducted inundation model test with the parameters of inundation depth, opening length, width, and provide their flow coefficients. Furthermore, based on the above studies, a design flow of framework was provided for the waterproof design of mainly low-rise wooden houses.

研究分野：地球環境

キーワード：浸水被害 浸水模型実験 浸水ハザード 止水性 設計法 木造家屋

様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、大型台風、竜巻などの風災害、豪雪、豪雨、高潮、猛暑などの気候災害の被害が急増しており、人々の日常生活にとって大きな脅威となってきている。中でも、豪雨によって河川の堤防が決壊し、周辺地域に大きな被害を及ぼす事例が増えている。土木分野においては、大規模氾濫減災協議会制度が創設されているものの、その取組み方針には建築分野がほとんど含まれていない状況にある。従来、建築分野での洪水への取組みは、地盤面を嵩上げしたり、床面のレベルを高めたりする、といった対応のみであった。日本建築防災協会などで示されている対応策のメニューを定量的に評価し、総合的な洪水対策へ反映させることは、喫緊の重要課題である。

わが国の全国各地に存在する浸水リスクの高い地域において、堤防の決壊などによる大きな浸水深や高流速の洪水に対して建築物の被害を低減させ、早期復旧を可能にするための設計法を構築することが、求められている状況にある。

2. 研究の目的

本研究は「浸水被害に対応した建築物の設計法に関する基礎研究」と題して、浸水しても修復が容易で、浸水後も早期復旧が可能な建築物を念頭に、仕上げ材の止水性を考慮して洪水に対応できる木造家屋の要求性能を明らかにし、浸水被害に対応した設計法の枠組みを提案するものである。気象災害の中で、内水・外水氾濫などの治水能力を超える豪雨による浸水被害を受けた建築物の浸水深に着目している。

3. 研究の方法

被害のあった建築物のうち、木造家屋を中心に床レベル、地盤面の高さ、建物仕様などの調査を行い、浸水深との関係を分析する。次に、浸水模型実験により仕上げ材(内外壁材など)と止水性(木造住宅に使用されるパッキン工法など)と浸水深との関係から、洪水に対応できる木造家屋に必要な要求性能を明らかにする。それを踏まえて、浸水深レベルに対して必要な止水性や構造耐力など浸水被害に対応した設計法の枠組みを提案する。

4. 研究成果

(1) 浸水被害を受けた建築物の調査

近年の水害で被災した地域4カ所(いわき市(11件)、郡山市(13件)、長野市(12件)、人吉市(14件))において、木造住宅の浸水被害と復旧に関して実施したヒアリングを実施した(表1、図1)。得られた知見は概ね下記である。

1) 復旧方法は、建替、1階全面取替(室内の床・壁の大部分を取替)、部分取替(室内の床のみ取替、あるいは床、壁の一部のみ取替)、取替なしの4つ分類すると、図2に示すように浸水深が床上1.3m以上(一般的木造住宅では、道

表1 ヒアリング調査の概要

調査地	被災年月	調査年月
いわき市平窪(夏井川左岸)	2019年10月	2022年5月
郡山市水門町・田村町(阿武隈川右岸)		2022年5月
長野市豊野付近(浅川両岸、千曲川左岸)	2020年7月	2022年7月
人吉市下薩摩瀬町・下青井町(球磨川右岸)		2022年8月

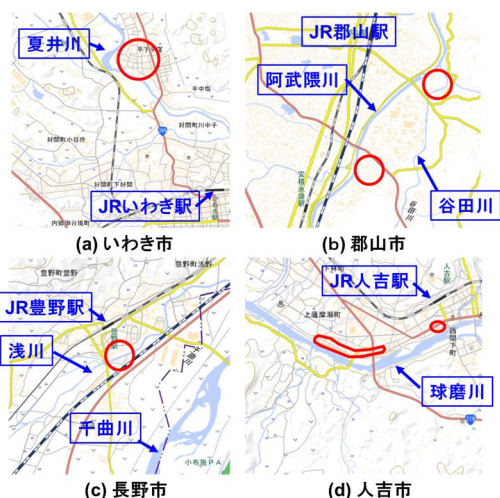


図1 調査地域(赤枠が調査地域)

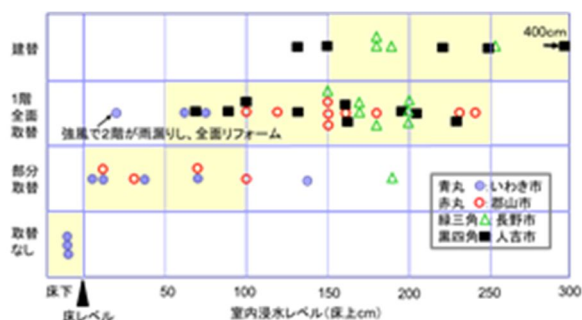


図2 室内浸水深と住宅復旧方法の関係

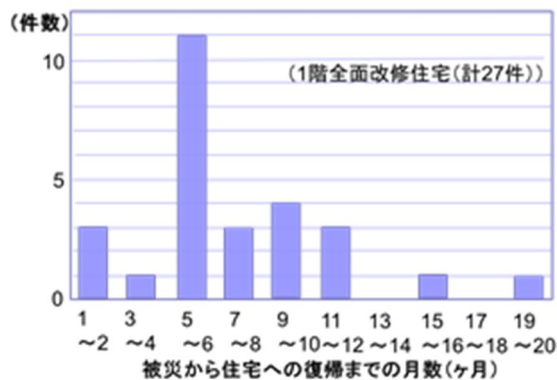


図3 住宅復旧までの期間(1階全面取替の場合)

路面からの浸水深 2m 程度以上に対応)で、建替の事例があった。また、同程度の浸水深でも、復旧対応に差が生じている。

- 2) 1階全面取替の場合について、住宅復旧期間(建物を修復し、生活を再開するまでの期間)毎の件数を図3に示す。室内浸水深と住宅復旧対応の関係によると、1階全面取替の場合について、住宅復旧期間(建物を修復し、生活を再開するまでの期間)には、大きなばらつきがあるが、半年から1年程度のケースが多い。

### (2) 浸水被害を受けた鉄骨造体育館

堤防決壊に伴う大流速の氾濫流により被害を受けた、鉄骨造体育館について被災調査を行った。被災状況より各部の変形・損傷状況を基に試算を行い、建物に作用した外力について考察した。ここで対象とした建物は、2019年台風第19号で決壊した千曲川の堤防直近に建っていた、長野市の鉄骨造平屋の体育館である(図3)。構造は、梁間方向がH形鋼による山形ラーメン構造、南・北面の桁行方向が2層のH形鋼梁とH形鋼柱(弱軸方向)からなる骨組にアングル材のX型ブレースを上下各段に2カ所ずつ設置した構造である。なお、この地域は浸水が想定される区域であり、浸水深は計画降雨レベルで3~5m、最大降雨レベルで10~20mとなっている。

建物の大部分を占める体育室部分の外壁は図4、5に示すように大きな被害を受けていた。南面の外壁はいずれも仕上げ材、下地骨組ともに堤防決壊部からの氾濫流の流れ方向と同じ方向に、外側から内側に向けて大きな力を受けて壊れており、東側から2スパン分および西側の1スパン分は完全に流失し、鋼製扉も大きく内側に向けて折れ曲がっていた。

これらの被害状況より、建物内の氾濫流の流れはおよそ図5のようであったと推察される。すなわち建物南東側から流入した流れの一部は建物内でそのまま北西方向に向けて通過するとともに、一部は北側壁面で反射して東側へと回流して東側の壁に作用した。また、体育室南西コーナーからの室内への流入も大きく、流入部近くの内壁を大破させたと考えられる。

立ち上がりコンクリートの割裂破壊やせん断破壊、外壁ALC板の破壊、外壁胴縁の変形、鋼製扉の破壊などから推察すると、氾濫流により建物壁面に作用した外力は、各部の損傷状況より概ね10~20kN/m<sup>2</sup>以上と推定される。

堤防決壊に伴う大流速の氾濫流により被害を受けた鉄骨造体育館の被災調査により、得られた知見は概ね下記である。

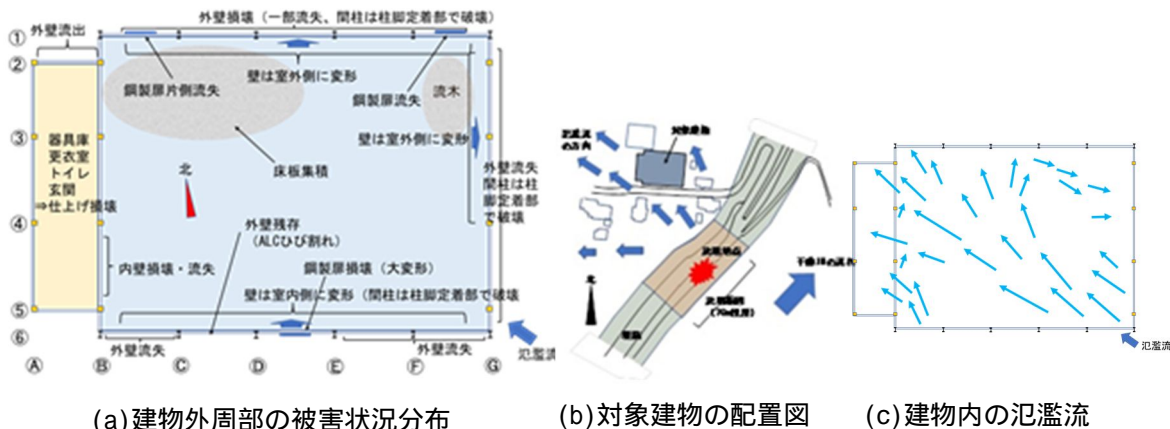
- 1) 氾濫流が外壁の損傷により建物内に流入した後、建物内での壁面等の抵抗力により回流が生じ、敷地周辺の大きな氾濫流の流れ方向とは異なる方向の力も生じる可能性がある。
- 2) 建物外壁に作用する力により面外方向に大きな変形が生じる場合、ブレース等により、構面内の柱には壁面内方向に大きな力が作用する可能性がある。
- 3) 氾濫流により建物壁面に作用した外力は、各部の損傷状況より概ね10~20kN/m<sup>2</sup>以上であったと推察される。ただし、漂流物の衝撃による衝撃力など、局部的にはさらに大きな外力が作用した可能性もある。

### (3) 浸水模型実験

木造住宅の浸水特性評価のための基礎研究として、模型を用いて開口部から室内への水の流入特性を評価する実験を行った(図6)。浸水試験装置は主水槽と集水槽とで構成し、主水槽の開口部から集水槽へ流れる流量を屋内側への浸水流量としている。浸水実験では給水を行う実験を定水位実験とし、給水を行わない実験を変水位実験とする。



(a) 外観 (b) 南東の外壁面被災  
図4 対象建物



(a) 建物外周部の被害状況分布 (b) 対象建物の配置図 (c) 建物内の氾濫流

図5 氾濫流(推定)による被害

主水槽に給水することで主水槽内の水位を一定とし定水位実験では水位計を集水槽内に設置し、給水を行わない変水位実験では主水槽内に設置した。主水槽は図 6(c)に示すように合板を鋼材で補強するように製作し、集水槽には内法寸法が約 1400mm×800mm×200mm の既製の容器を用いた。試験体は木造住宅の開口部を想定して、鋼板、コンクリート、パッキン仕様に関して開口部の大きさ(幅,長さ)と水位をパラメータとした(表 2)。ここで、パッキン仕様の開口率は見附面積に対して 40%程度であり、コンクリート仕様を用いる。

1×200 鋼板(開口幅:1mm,開口長さ:200mm)の試験体で水位(1000mm,750mm,500mm,250mm)をパラメータとした変水位試験及び定水位試験の浸水流量の時間的変化を図 7 に示す。浸水速度は、水位が大きくなる程、変水位試験及び定水位試験共に大きくなっている。浸水流量は初期の時間において線形的に増加するが、経過時間が増加するに連れて、非線形性を示している。変水位試験の初期の浸水速度は、水位 1000mm と 750mm の場合、浸水速度は定水位試験と概ね同じである。これに対して、水位が 500mm より小さい場合には、定水位試験の浸水速度は変水位試験より大きくなっている。これは、水位が異なることによる水流の影響と考えられる。また、変水位試験より得られた流量係数は定水位試験と概ね同じである。

鋼板仕様、パッキン仕様、コンクリート仕様の試験体の変水位試験に関して、水位をパラメータ(250mm~1000mm)とした流量係数を図 8 に示す。開口部幅 5mm,開口長さが 100-300mm の開口部は、木造住宅に使用されているパッキンを基準に想定している。変水位試験による鋼板仕様、パッキン仕様、コンクリート仕様の試験体に関して、異なる開口部形状の流量係数は、共に水位に関わらず、概ね一定となっている。鋼板仕様の流量係数は、各水位において 0.70 程度、コンクリート仕様の流量係数は、各水位において一定であるが、開口部形状によって 0.8~0.9 に分布している。一方、パッキン試験体の流量係数は、0.7 程度と鋼板仕様に概ね等しい。

以上に示した、浸水模型実験により得られた知見をまとめると、概ね下記となる。

- 1)外壁面に開口部を有する流量係数は、水位によらずトリチェリの定理に基づき概ね推定できる。
- 2)異なる開口部形状の流量係数は、共に水位(1000mm,750mm,500mm,250mm)に関わらず、概ね一定となる。
- 3)鋼板仕様およびパッキン仕様の流量係数は、 $C=0.7$  で一定であるが、コンクリートの流量係数は、開口部奥行きの影響を受け、0.8~0.95 となる。

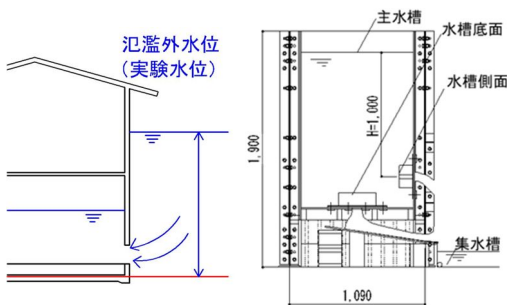
(4) 建築物の耐水設計法の枠組(提案)

以上の研究成果も踏まえて、木造の低層住宅を主対象とした建築物の耐水設計法の枠組について、提案する耐水設計のフローを図 9 に示す。ここで、建築物の洪水による被害を、浸水による被害と高流速の氾濫流による被害とに分けている。

氾濫流の流速を考慮する境界流速はおよそ 1~2m/s 程度と考えている。これは、建築物や外壁の耐風設計では、低層の場合風速 30~40m/s 程度を想定しており、氾濫流の泥流と空気と

表 2 試験体一覧表

開口位置	試験体種類	開口幅×長さ(mm)	実測開口面積(mm <sup>2</sup> )	給水	試験名	
側面	鋼板	1×200	200	無し(変水位) 有り(定水位)	T1S-NS-S01200 T1S-WS-S01200	
		2×200	467	無し(変水位)	T1S-NS-S02200	
		5×100	528	無し(変水位)	T1S-NS-S05100	
		5×200	1024	無し(変水位)	T1S-NS-S05200	
		5×300	1540	無し(変水位)	T1S-NS-S05300	
	コンクリート	5×200	723	無し(変水位)	T1S-NS-CO05200	
		10×200	2007	無し(変水位)	T1S-NS-CO10200	
		15×200	2567	無し(変水位)	T1S-NS-CO15200	
		パッキン	20×150	1152	無し(変水位)	T1S-NS-P20150
			20×200	1536	無し(変水位)	T1S-NS-P20200



(a)木造住宅の水位・開口 (b)水槽断面図



(c)外観 (d)開口部からの浸水

図 6 浸水模型実験装置

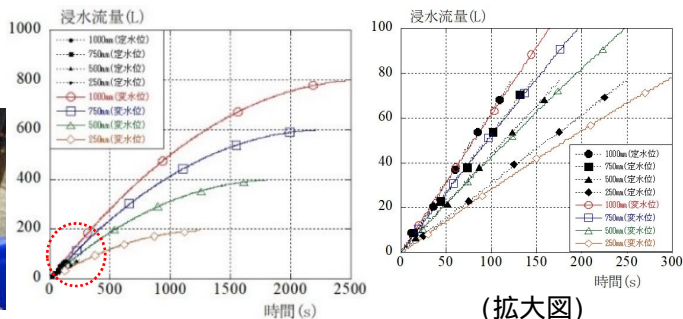


図 7 変水位試験と定水位試験の浸水流量 (開口:1mmx200mm)

の比重との比を考慮するとおよそ 1/3 の流速の 1m/s 強に対応すること、建築物の構造耐力は耐震設計上およそ重量の 0.4 倍程度は確保されており、平面が 10m 四方程度の木造 2 階建て住宅で、浸水深が 2~4m とすると、対応する流速はおよそ 3~4m/s になることより、流速 1~2m/s 程度以下では一定の強度を有していることを根拠としている。ここでは、特に 4) の浮上抑制法として、故意に室内に水を流入させる方法に着目している。

< .浸水に対する設計>

1)ハザード情報の把握

敷地周辺のハザードマップや水害リスクマップ、過去の水害記録情報、地域の地形情報などから建築設計に関わる基本的なハザード情報を入手する。氾濫流の流速が高流速になる地域かどうかに関する情報としては、家屋倒壊等氾濫想定区域などの情報も参考にする。

2)設計用浸水深・クライテリアの設定

ハザード情報を基に、設計用浸水深・クライテリアを費用対効果も考慮して多段階で設定する。浸水抑制を行う対象浸水深の範囲設定も含める。

3)浸水抑制法の設計

クライテリアで定めた浸水深以下における室内浸水を抑制する工法を設定し、設計する。室内浸水抑制法としては、敷地地盤をかさ上げする方法、基礎部のせいを高めて 1 階床レベルを高くする方法、外周部の外壁・開口部周りや配管周りなどの止水性を高める方法などがある。なお、室内浸水抑制を行うことにより浸水時に作用する浮力に対する検討も併せ行う必要がある。木造家屋に作用する浮力は、地盤面や敷地浸水深や浸水継続時間、基礎部の形状などによって異なることが予想され、必ずしも明確にはなっていない。ただし、近年の水害における木造家屋浮上結果の検討によれば、基礎底面からの浸水深と建物重量との関係で、浮上現象をほぼ評価できる。

4)建物浮上抑制法の設計

建物外周部を止水した場合、建物底面に作用する浮力により浮上しないように建物や基礎部の重量をもたせるなどの対策を講じる。場合によっては設計用浸水深・クライテリアの見直しを行う。ただし、浸水深が想定した以上となった場合、浮上することに注意が必要である。想定浸水深以上になった時には積極的に室内に水を流入させる方法はその対応策として有効である。

5)室内浸水に対する設計

浸水抑制する浸水深を超えた場合には、室内浸水による被害を最小にして早期復旧を可能にする室内の対策を行う。室内浸水後に、取替え不要な仕上げ材料の使用、清掃・消毒・乾燥・復旧が容易な工法、開口部配置、設備機器・配線の配置等の室内計画とする。特に室内の床下や壁内を早期に清掃・消毒・乾燥可能な工夫は重要である。

< .高流速な氾濫流に対する考慮・設計>

1)設計用浸水深・流速と動的流体力の設定

高流速な氾濫流が想定される地域では、ハザード情報を基に、氾濫流の浸水深と流速、流れの方向などを設定し、動的流体力を推定する動的流体力に対する外壁部の設計上で設定した動的流体力を基に、建物外周部壁面の応力を求め、これに対し耐力を確保するようにする。仕上げ部材で耐力性能が不明な材料に対してはこれを実験的に確認する必要がある。

2)動的流体力に対する外壁部の設計

上で設定した動的流体力を基に、建物外周部壁面の応力を求め、これに対し耐力を確保するようにする。仕上げ部材で耐力性能が不明な材料に対してはこれを実験的に確認する必要がある。

3)動的流体力に対する構造体等の設計

外壁部に作用した動的流体力による構造骨組の安全性を確保できるように構造体等を設計する。動的流体力は構造構面方向に対しても局部的に大きな影響が及ぶ可能性もあるので、慎重に検討する必要がある。

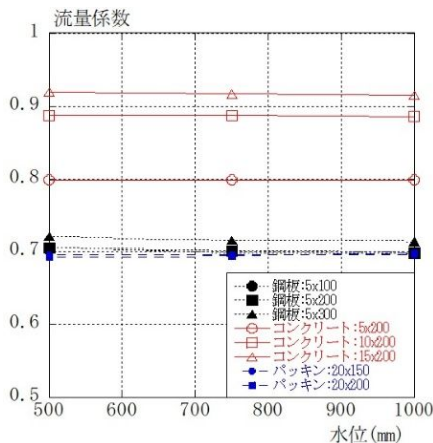


図 8 各仕様の流量係数(変水位試験)

< . 浸水に対する設計 >
1)ハザード情報の把握
2)設計用浸水深・クライテリアの設定
3)浸水抑制法の設計
4)建物浮上抑制法の設計
5)室内浸水に対する設計
< . 高流速な氾濫流に対する考慮・設計 >
1)設計用浸水深・流速と動的流体力の設定
2)動的流体力に対する外壁部の設計
3)動的流体力に対する構造体等の設計

図 9 建築物の耐水設計のフロー

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 田村和夫, 藤田正則, 中村 慎	4. 巻 29
2. 論文標題 氾濫流により損傷した鉄骨造体育館の被災調査と考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 180, 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田村和夫, 藤田正則, 中村 慎
2. 発表標題 家屋の浸水特性評価用模型実験による開口パラメータの影響評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田正則
2. 発表標題 自然災害が多発する時代に建築構造ができること -地球環境問題への対応- 主旨説明
3. 学会等名 日本建築学会大会地球環境部門PD資料
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田村和夫
2. 発表標題 自然災害が多発する時代に建築構造ができること -地球環境問題への対応- 気象災害への対応
3. 学会等名 日本建築学会大会地球環境部門PD資料
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田村和夫, 藤田正則, 中村慎
2. 発表標題 木造家屋の浸水特性評価に関する基礎的模型実験と考察
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

田村和夫, 藤田正則: 浸水被害を受けた木造住宅の事後対応・復旧に関する調査, 神奈川大学工学研究, No.6, pp.66-67, 2023.3
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中村 慎  (Nakamura Makoto)  (10839385)	神奈川大学・工学部・助手   (32702)	
研究分担者	田村 和夫  (Tamura kazuo)  (50416822)	神奈川大学・付置研究所・研究員   (32702)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------