

令和元年6月17日現在

機関番号：37401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00713

研究課題名(和文)スタッキング自立柱による軽量乾式工法高断熱ロングスパンモバイル建築システムの開発

研究課題名(英文) Development of the high insulation long span mobile architecture system of the lightweight dry construction method with the stacking pillar

研究代表者

中蘭 哲也 (NAKAZONO, Tetsuya)

崇城大学・工学部・准教授

研究者番号：70635656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：この研究の目的は、災害が発生した直後に避難できる施設を開発することである。この避難施設は安価であり、軽量であり、また容易に組み立てられなければならない。また、CFD解析を行うことで室内環境を検討し、施工方法を確認するためにモックアップの作製も行った。その結果、その施設の外皮を二重にし、その外皮の間の空間をファンで換気することが快適な室内環境を確保するために必要とわかった。さらに外皮の素材をPOフィルムとすることで、経済性、施工性を改善することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに発生した阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震のいずれにおいても、地震発生直後の10日間程度が避難者の数がピークに達しているが、その間の仮設避難施設がほとんど整備されておらず、日本だけでなく世界的にもそれに適した施設が開発されていない状況である。そんな中、近い将来かなりの確率で発生が予想されている南海トラフ地震に向けて、「防災」だけでなく「減災」という考え方で災害発生後に二次的人的災害が起こらないように、安全で安心できる避難施設の開発が早急に必要であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A purpose of this study is to develop the refuge facilities just after a disaster occurred.

These refuge facilities are cheap and are lightweight and must be assembled easily. I examined an indoor environment by CFD analysis. Then, I manufactured a mock-up to confirm a construction method. As a result, the crust of the facilities must be double. I understood that it was necessary for a fan to ventilate between the crusts. Furthermore, PO film was identified as the best material as crustal material. Then, we can easily assemble these facilities at a cheap price.

研究分野：建築設計

キーワード：膜構造 セルフビルド モバイル建築 南海トラフ地震 熊本地震 避難施設 CFD解析 POフィルム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

日本国内及び世界中で地震や洪水、台風、津波、噴火などの自然災害、戦争などの人為的災害が起きている。近年発生した自然災害と人為的災害を例に出すと、四川大地震や東日本大震災、シリア内戦、熊本地震、平成30年7月豪雨などがある。2018年6月にUNHCR本部が発表した2017年の統計によると、2017年、紛争や暴力、迫害により、世界で移動を強いられた人の数は5年連続で増加し、2017年末の時点で家を追われた人の数は6850万人に上る。

2011年東日本大震災時、避難者数がピーク時約47万人、2016年広島土砂災害時、避難者2000人超え、2016年熊本地震ではピーク時避難者数18万人超えた。熊本地震時避難所での経験から、避難者1人当たり専有面積が畳一枚の広さ約2㎡の面積だった。しかし、UNHCRが定める難民キャンプの設置基準は避難者1人当たり専有面積3.5㎡である。日本の避難所における1人当たりの面積は、難民キャンプより遥かに下回っている。

東日本大震災の直後、鉄道やバスなど多くの交通機関が運航停止となり、首都圏を中心に約10万人の帰宅困難者が続出することとなった。熊本地震では余震が続く中、指定避難所だった建物が地震で壊れ安全でないと判断され、避難所として開放できなかった施設が多く存在した。さらに建物に対する恐怖や避難所の混雑などの理由で避難所に入らず車中泊や屋外避難をした人もかなりの数に上った。

近い将来かなりの確率で発生が予測されている南海トラフ地震を前に、避難所における生活環境を改善するだけでなく、帰宅困難者や車中泊での避難者、屋外避難者への避難場所や施設の提供が今後の大きな課題となる。

### 2. 研究の目的

これまで日本では、災害発生直後の避難所として市役所、体育館等を指定していたが、熊本市においては、市内171箇所の指定避難場所のうち、体育館等が建物自体の破損や内部の屋根、照明等の落下によって、壊れて入れなくなった避難所は38箇所あった。よって、開設できたたくさんの避難所に予想以上の避難者が集まり、大混雑となった。そして、避難所内部の混雑と建物に対する恐怖でたくさんの避難者は余儀なく屋外や車中を避難先として選んだ。特に地震発生直後の10日間は、余震への恐怖などから避難者の数がピークとなるため、特にこの期間における避難施設の開発が必要と考える。

本研究では、災害発生直後に屋外で避難者自身が簡易に組立てできて、かつ快適な温熱環境で安心・安全な避難施設の開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 避難状況・避難施設の状況調査

まず、日本で起きた災害発生後避難者の発生状況、避難生活の様子、行政の対応等を把握することで、開発すべき避難施設に必要な設計条件を抽出する。

#### (2) 避難施設の提案

(1)で得られた設計条件を基に設計を行い、さらにモックアップを作成することで、保管、運搬、組立て、室内環境、解体という一連の工程をより現実に近い状況で確認し、そこで得られた改善点を設計にフィードバックする。このモックアップを使ったブラッシュアップと同時に、室内の温熱環境を、CFD解析により検討することで、より快適な室内環境へと導いていく。

### 4. 研究成果

#### (1) 近年日本で発生した5大地震における避難状況

近年日本で発生した阪神淡路大震災、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、東日本大震災、熊本地震を地震発生季節、気温、避難者数、インフラ復旧完了にかかった日数などの項目に分け、表4.1のようにまとめた。

	日付	気温	震度	最大 避難者数	開設した 避難所数	避難所廃止 まで日数	インフラ復旧 完了まで日数	屋外避難所 有無
阪神淡路大震災	1995年1月17日 5時46分	最高8℃ 最低1.4℃	最大震度7	316,678人	最大1,153か所	約9ヶ月半	電気6日 ガス2ヶ月 水道1ヶ月	有り 自衛隊テント 29か所、494張り
新潟県中越地震	2004年10月23日 17時56分	最高17℃ 最低10.1℃	最大震度7 5弱以上:18回	103,187人	最大603か所	約2ヵ月	電気10日 ガス2ヶ月 水道1ヶ月	テント有無不詳 車中避難多数存在
新潟県中越沖地震	2007年7月16日 10時13分23秒	最高26.4℃ 最低21.6℃	最大震度6強	12,483人	最大116か所	約1ヵ月半	電気2日 ガス40日 水道20日	有り テント有無不詳 屋外と車中避難存在
東日本大震災	2011年3月11日 14時46分	最高5.9℃ 最低-3.0℃	最大震度7	約47万人	最大か所	約7ヶ月	電気2ヶ月 ガス1ヶ月 水道5ヶ月	テント有無不詳 車中避難存在
熊本地震	2016年4月14日 21時26分	最高25.9℃ 最低11.8℃	最大震度7	183,882人	最大855か所	約6ヶ月半	電気10日 ガス15日 水道10日	有り レジャーテント 統計可能1,005張り

表4.1 近年日本で発生した5大地震における避難状況

阪神淡路大震災と熊本地震の共通点は、屋外に避難した人数が多く、全体の避難者数の把握が難しく、配布した食料や飲料水で避難者数を推移することとなった。そして、両者とも屋外でテントを設営し、テント内でたくさんの被災者が避難していた。しかし、阪神淡路大震災で利用したテントはほとんど自衛隊が設置したテントだったのに対して、熊本地震では民間組織から提供されたテントだった。また、両者とも災害後大雨が降り、広い範囲で二次災害が発生しテントで避難していた避難者にも影響を及ぼした。

5つの地震の共通点は、安全と思われた行政指定の避難建築であったが、災害の影響から安全ではないと判断され、避難所として利用できなかった建築がたくさんあった。よって、ほかの避難所の混雑や屋外避難者の人数上昇につながった。そして、被災者の自宅の片付け完了、ライフラインの復旧完了に伴い避難者の数が減少し、避難所の数も減っていった。

## (2) 既製・開発中の仮設建築の調査

現在実際災害現場で利用されているもの多くはテント製のものが多かった。その中で、消防署と自衛隊が使う6人対応できるテントはかなり重く値段も高価なため、大量備蓄及び避難者自身による設営が難しい。そして、消防隊員からの意見で、「夏、エアートtent内に虫の侵入を防ぐためメッシュの防虫ネットを出入口に付けるので、風通しが悪く、大勢と一緒に寝るので非常に暑い。逆に冬は、特に夜非常に気温が下がるので、就寝前までにエアートtent内に暖房器具を入れるが、空気がこもって天井が結露し、水滴が顔に落ちて何度も目が覚め眠れない」という意見があった。よって、調査した空気で膨らむ塩ビシートで構成された仮設空間のすべてはこのような短所があると推測できる。

難民キャンプで使われている「Better Shelter Housing Unit」という製品は、レジャー用テントと比較して4倍程度とかなり高価であった。他にも、使用可能年数が短い、再利用不可能、専門技術者・重機・特種工具が必要、梱包サイズが大きく大量保管できない、非常に重く運搬・設営が難しいなどの短所がある。

このように、現在既に使用されているもしくは開発中の仮設建築の中で、災害発生直後素早く簡易に設置できる仮設避難施設は開発されていないと言える。

## (3) 仮設避難施設の保管場所と梱包サイズ

熊本市内に設置してある24か所の集中備蓄倉庫の中には食料や飲料水、生活必需品以外に、発電機やバール、スコップ、ハンマー、延長コード、のこぎり、土壌袋、投光機、燃料缶、鉋なども備蓄されている。よって、仮設建築を設営する時に必要な道具がそろっている集中備蓄倉庫に今回の研究で完成した仮設建築を保管することとする。よって、熊本市内で使われている備蓄倉庫の中でサイズが一番小さいものの開口部に合わせ、梱包サイズを決める必要がある。

## (4) 仮設避難施設の建築システムと施工方法

避難者自身で簡易に設置可能でかつ室内を快適な温熱環境にするために、軽量で安価なPOフィルム（農業用ポリオレフィン系特殊フィルム）を採用することにして、断熱・遮熱性を得るために、これを二重に重ねその間を空気層としドーム上の二重テント屋根とする。状況に応じてこの空気層を換気することにする。この二重テント屋根に覆われた室内空間も床を構成するPOフィルムにより密閉されており、ミニ換気扇（7WのPC用ファン）で吸気し自動で設営できるシステムとしている。

人間らしい最低限の生活を送る上で水平な床というのは非常に重要な条件である。床のPOフィルムの上に基礎ブロックを910mm間隔で敷き並べ、その上に24mmの合板を置くことで水平な床を確保する。また、風による煽り防止のために、農業用FRP支柱を基礎ブロックの穴に挿して自立できる柱ユニットも用意する。夏の遮熱のために、農業用遮熱ネットで二重テント屋根を覆うことで室温上昇を抑えることも可能となる。

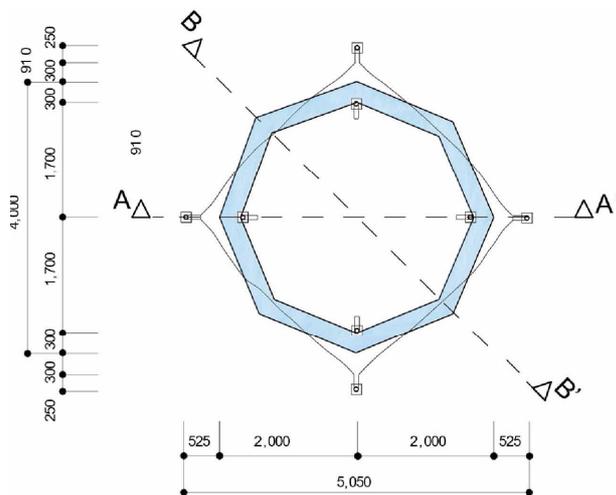


図4.1 仮設避難施設 平面図

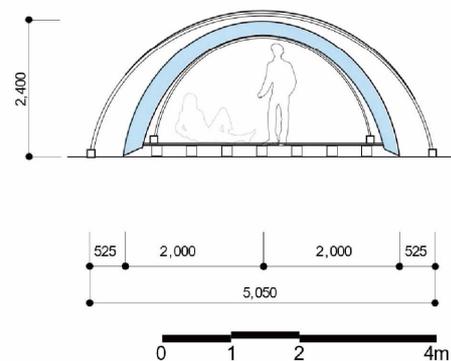


図4.2 仮設避難施設 A-A' 断面図

### (5) モックアップの作成

設営時間、設営の難易度、梱包サイズ、解体作業の難易度等を確認するために、モックアップを作成した。直径 5,000 mm のモックアップを、設営から解体までの全工程を一人で試みた。まず、ミニ換気扇により吸気を行い約 7 分で設営が完了した。解体は、ミニ換気扇を逆に取付け直して、室内空気を強制的に排気することにより解体も容易に行えることが確認できた。梱包サイズも 550 mm × 450 mm × 200 mm とコンパクトに畳むことができ、最も小規模な備蓄倉庫にも十分保管できると確認できた。



写真 4.1 モックアップ(透明)



写真 4.2 モックアップ(透明 + 不透明)

### (6) CFD解析による室内温熱環境の検討

透明 P0 フィルムと不透明 P0 フィルムの一重ドーム屋根と二重ドーム屋根に分け、2018 年冬至、夏至の早朝 4 時及び昼 13 時の平均気温、平均風速、平均風向、平均湿度を初期条件にして、CFD 解析ソフト (FlowDesigner2018) で 16 パターンに分けた解析条件で解析を行なった。温熱環境要素の空気温度、湿度、気流、放射及び人間側の着衣量、活動量の温熱快適性の 6 要素で 16 パターンそれぞれの SET\* 快適温度範囲で判断した。

図 4.3 は二重ドーム屋根の夏の解析結果の一部を示す。

夏・透明 P0 フィルムを使用した二重ドーム屋根という条件だと、左下の解析結果より、昼、内部の平均 SET\* が 34.8、平均温度 30.7、平均風速が 0.2m/s となっていることが分かった。日中テント内の温度が非常に高く、熱中症になる恐れがある。よって、夏、透明 P0 フィルムを使うことはできないと判断できる。

夏・不透明 P0 フィルムを使用した二重ドーム屋根という条件だと、右下の結果より、終日室内の平均 SET\* が 23、平均温度 23.7、平均風速が 0.2m/s となっており、夏の着衣量 0.5clo、建物内部での避難者の活動量 0.7Met より、SET\* の数値は快適な温度範囲 22.2 ~ 25.6 の範囲内にあるとわかった。

図 4.4 は二重ドーム屋根の冬の解析結果の一部を示す。

左上 2 枚の図は二重ドーム屋根透明 P0 フィルムの解析結果である。そして、右上 2 枚の図は二重ドーム屋根不透明 P0 フィルムの解析結果である。不透明 P0 フィルムの優れた遮熱性によって昼と早朝の変化ほとんどないが、空間内の平均 SET\* 値 15 と非常に低い。以上の結果から、冬は二重膜の空気層の換気を行わず密閉性を高め断熱性を高めることで室内を快適域に保てるような設計にする必要があるだろう。

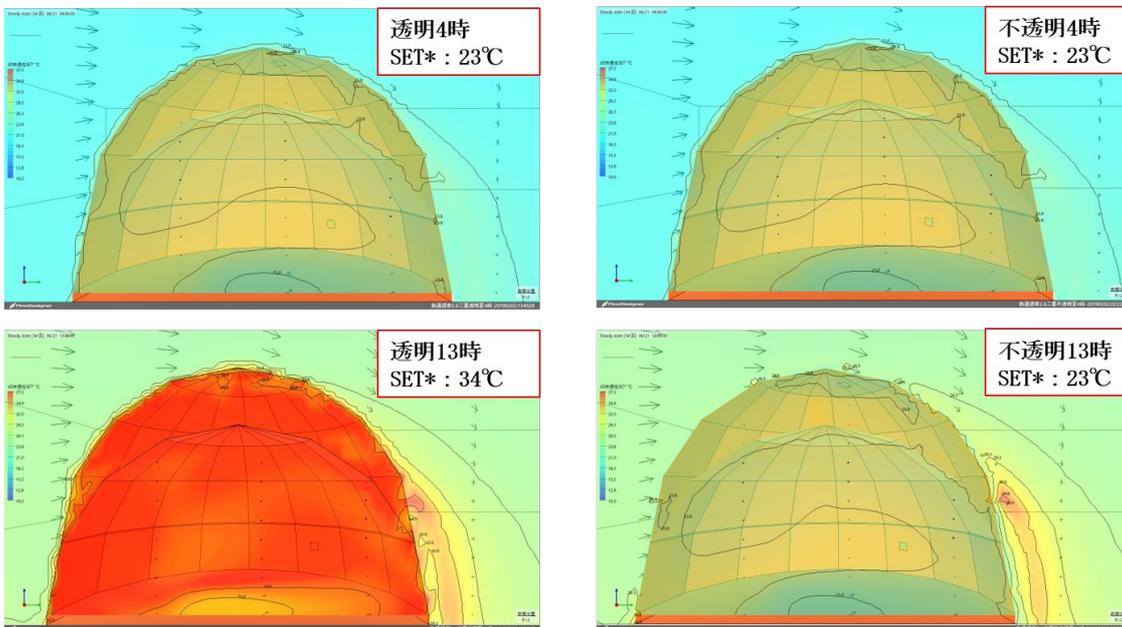


図 4.3 CFD 解析結果 (夏、二重ドーム屋根)

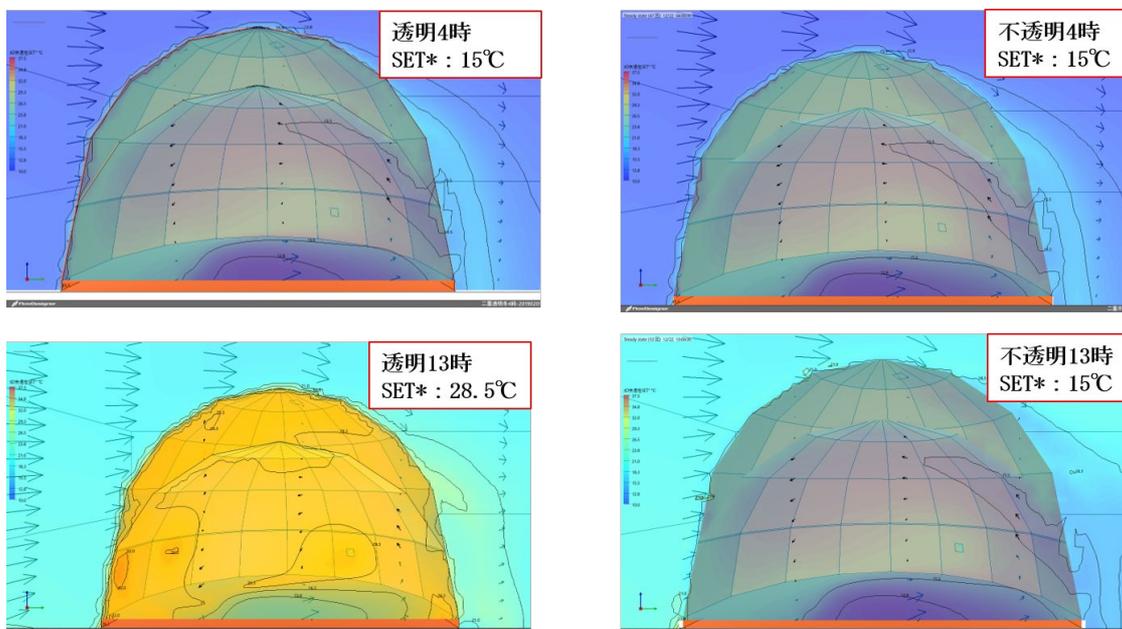


図 4.4 C F D解析結果（冬、二重ドーム屋根）

（ 7 ）まとめ

モックアップでは直径 5,000 mmとしたが、これは 1 家族単位で避難するためのもので、現実的な避難を考えると 100 人程度収容できる施設も必要になると考えられる。そこで図 4.5、図 4.6 にあるような奥行き 50m 規模の施設も設計した。建築システムは図 4.1 と図 4.2 にある仕組みと同様とし、設営と解体を容易に行えと考えている。

今後の目標としては、この規模のモックアップを作製し、設営時間、設営の難易度、梱包サイズ、解体作業の難易度、室内温熱環境等を確認することを考えている。

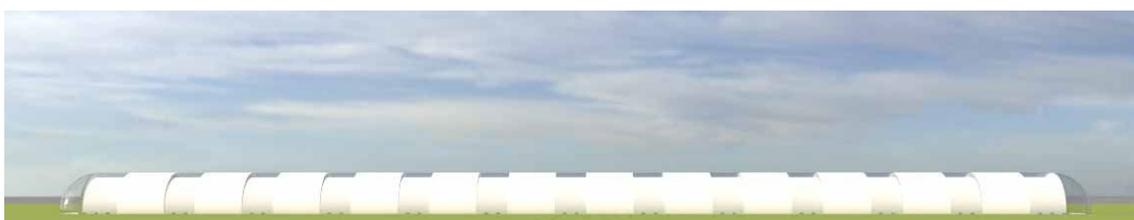


図 4.5 仮設避難施設(100 人収容)透視図

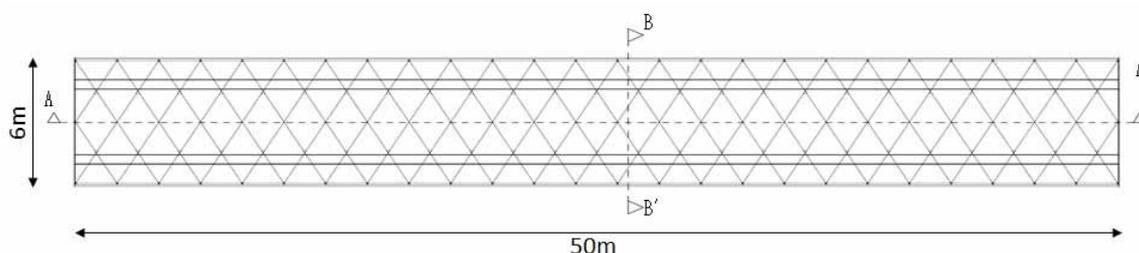


図 4.6 仮設避難施設(100 人収容)平面図

< 引用文献 >

仙台市復興事業局震災復興室、東日本大震災仙台市震災記録誌～発災から 1 年間の活動記録～、2013

熊本市都市政策研究所・政策局復興総室、平成 28 年熊本地震 熊本市震災記録誌～復旧・復興に向けて～発災からの 1 年間の記録、2018

熊本県益城町、平成 28 年熊本地震 益城町による対応の検証報告書、2017

兵庫県（財）21 世紀ひょうご創造協会、阪神・淡路大震災復興誌 [ 第 1 券 ]、1995  
新潟県、新潟県中越沖地震、2008

熊本市、平成 28 年熊本地震に関する災害対策本部会議資料、2016-2018

住環境価値向上事業協同組合、避難所としてのテント・シェルターハウス【別冊 5】、2016

（一財）消防防災科学センター・小松幸夫、地域防災データ総覧 平成 28 年熊本地震編、2017、pp.119-132

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

付 暁菴、中園 哲也、災害発生直後の避難施設の提案 スタッキング自立柱による軽量乾式工法高断熱ロングスパンモバイル建築システムの開発 その1 現況の調査・分析、日本建築学会、2018

中園 哲也、付 暁菴、日常巻く膜 - スタッキング自立柱による軽量乾式工法高断熱ロングスパンモバイル建築システムの開発 -、芸術工学会 特設委員会 「減災と復興へのデザイン力」減災デザイン・プロジェクト、2019

〔その他〕

ホームページ等

減災デザイン&プランニング・コンペ 2019 (主催：芸術工学会 特設委員会 「減災と復興へのデザイン力」減災デザイン・プロジェクト) にて審査員賞受賞

## 6. 研究組織

(2)研究協力者

研究協力者氏名：付 暁菴、平山 裕人

ローマ字氏名：FU Shaorei、HIRAYAMA Hiroto

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。