

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289187

研究課題名(和文)大規模災害後の復旧・復興を支援する一般住宅に転用可能な木造応急仮設住宅の開発

研究課題名(英文) Development of the wooden emergency temporary housing for rehabilitation and reconstruction after a large-scale disaster which can be converted into conventional housing

研究代表者

板垣 直行 (Itagaki, Naoyuki)

秋田県立大学・システム科学技術学部・教授

研究者番号：00271891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災において建設された様々な木造応急仮設住宅を調査し、構法形式および構造性能、温熱環境を中心とした居住環境、木材の供給・加工方法、といった観点から整理・分析を行い、課題や改善点を踏まえ、復興住宅に転用可能な新たな木造応急仮設住宅の開発を行った。一般住宅への転用を考慮しつつ、構造性能および居住環境性能を確保する構法として、スギ角材を並べて連結したパネルを耐力壁に用いる新たな構法を開発した。この構法による応急仮設住宅モデルを設計・施工し、施工性、環境性能を評価した。

研究成果の概要(英文)：The various wooden emergency temporary housing constructed in the Great East Japan Earthquake was investigated. Those results were analyzed from the point of view of the construction method and the structural performance, the thermal environment of the room and the supply and the processing method of woods. It's based on a problem of the result of analysis and improvement points, and the wooden emergency temporary housing which can be converted into conventional housing was developed. The new construction method uses the panel which lined up and connected square lumber of the Japanese cedar. Those panels can be reused into conventional housing. And the construction method is excellent in structural performance and a thermal environmental performance. An emergency temporary housing model was designed and built by this construction method. After that the construction efficiency and a thermal environmental performance were estimated.

研究分野：建築材料学 木質材料・木質構造

キーワード：建築構造・材料 木造構法 耐震性 居住環境 リユース 丸太組構法

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災後に建設された応急仮設住宅においては、従来の鉄骨系プレファブ住宅に加えて様々なタイプの木造仮設住宅が建設された。これらの木造応急仮設住宅においては、木材の活用により、室内環境の向上、生理・心理的効果、復興住宅への転用などの建築的効果に加え、地域資源の活用、地元雇用の促進などの地場産業の活性化による社会的意義も期待されている。

一方、建設された大量の応急仮設住宅は、その供与期間が過ぎた後の扱いが懸念されている。阪神淡路大震災においても、廃棄処分が困難なため海外への提供を実施したが、高い輸送費に公費が費やされている。このため、公募により建設された応急仮設住宅については、部材の転用や移築を意図した工夫もされており、それらが実際にどのように運用されるかが注目される点である。

今後予想される大規模災害に対し、今回試みられた取組の有効性についての検証を行い、仮設住宅のあり方について新たな方向を見出すことが重要である。また、今回建設された仮設住宅の分析より得られた成果・課題を踏まえ、より合理的な木造応急仮設住宅を開発することが期待される。

2. 研究の目的

以上の背景より、まず今回の東日本大震災において建設された木造仮設住宅に関する資料を収集し、a) 構法形式および構造性能、b) 温熱環境を中心とした居住環境、c) 使用木材の種類および供給方法、といった観点から整理・分析を行う。その上で、仮設住宅における木材利用の効果、さらには課題点を明らかにする。

さらにそれらの成果・課題を踏まえ、今後の災害時に地域木材を有効に活用でき、さらに仮設として利用した後に、部材レベル、あるいは基本架構レベルで、復興住宅に転用可能な応急仮設住宅モデルを検討する。その際に、一般住宅として要求される性能を実現できるか、部材の構造性能、環境性能を検証する。また、建設・解体を前提とした施工の合理性、低コスト化なども検討する。最終的にはこれらの検討を実践したモデル仮設住宅を設計・施工し、上記の性能等についての検証を行う。

3. 研究の方法

本研究課題では、研究内容を、「(1) 東日本大震災において建設された木造応急仮設住宅の情報収集及び分析」、「(2) 一般住宅への転用を考慮した木造応急仮設住宅の開発」の大きく2つに分けられる。

(1)においては、東日本大震災において建設された木造仮設住宅の情報収集を中心に研究を進めた。建設された木造応急仮設住宅は、プレハブ建築協会(以下、プレ協)の住宅部会が供給したものと、各県が公募したものと

に大別される。プレ協住宅部会に関してはさらに、日本木造住宅産業協会、日本ツーバイフォー建築協会、輸入住宅産業協会が供給を行っており、これらの団体がまとめた報告書などを資料とした。一方、各県の公募によるもの(宮城県においては協議会方式)については、各県にヒアリングして公募資料並びに報告書資料などを得た。また、国土交通省、木を活かす建築推進協議会などにおいても、各県の応急仮設住宅の事例調査をまとめており、これらを資料とした。得られた資料から、前述の a), b), c) の観点から分析を行い、特に注目される事例については視察、さらには居住環境調査を行った。

(2)に関しては、(1)の調査に基づき、解体・移築の利用に優れ、また躯体の木材自体を仕上げ材、さらには断熱材として活用する丸太組構法の応急仮設住宅に着目し、これを改良してスギ角材を縦向きに並べて連結してパネル化したものを壁として用いる新たな構法(以下縦ログ構法)を開発した。この際、パネル化された壁を建築基準法上の軸組構法に適用するため、耐力壁として壁倍率の認定を取得した。このためログ材同士を連結する様々な接合方法について試験を行い、耐力・剛性に優れたつつ、解体も容易な連結方法を検討した。さらに開発された縦ログ構法を用いた応急仮設住宅モデルを設計し、実際の建設工事における各工程の工数を調査し、施工性を検討した。また、積算資料に基づき建設コストを精査した。さらに断熱性能を調査し、居住環境について評価を行った。

4. 研究成果

(1) 東日本大震災において建設された木造応急仮設住宅の情報収集及び分析

構法および構造

木造応急仮設住宅の構法別建設社数を図1に示す。公募においては、多くが在来軸組構法で建設されているが、これは主に地元の大工でも建設可能であることが求められたことが理由としてあげられる。住宅部会では2×4協会と輸入住宅産業協会によって2×4工法の仮設住宅が供給されたため在来軸組構法より2×4工法の建設社数が多い。福島県では一般公募により2社が丸太組み構法を、3社が板倉工法を用いていた。岩手県では、集成材による軸組パネル構法が用いられた。

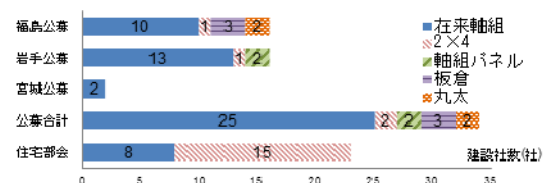


図1 構法別建設社数

基礎に関しては多くが木杭を用いられているが、小規模の工務店などでは木杭打ち機がないため、いくつかの会社では有筋コンクリ

ートベタ基礎が用いられている。また、コンクリートブロック基礎を採用し工期の短縮を図っている会社もみられた。

仕上・断熱仕様

内装等の仕様を表1に一覧する。7~8割の会社が内壁を化粧石膏ボード仕上げとしているが、一般公募においてはいくつか杉合板・木あらし壁などといった木質の仕上げが採用されている。特に福島県では他県より木質仕上げが多い。また、床仕上げではカーペットとフローリングの仕様が多いが、一般公募では畳も取り入れられている。福島の一般公募では、木質内壁の使用に伴ってフローリングを採用する会社が比較的多くみられる。

表1 内装等の仕様と建設社数

窓	アルミサッシ ペアガラス	樹脂サッシ ペアガラス	アルミサッシ 単層ガラス	その他
一般公募	17社	6社	2社	3社
住宅部会	19社	4社	0社	0社
内装仕上げ	化粧石膏ボード	杉あらし	その他	不明
一般公募	23社	10社	3社	1社
住宅部会	21社	0社	2社	0社
床仕上げ	カーペット	カーペット・畳	フローリング	フローリング・畳 その他
一般公募	11社	6社	12社	4社
住宅部会	12社	0社	7社	0社

断熱仕様に関して、窓はアルミサッシペアガラスが最も用いられているが、住宅部会では樹脂サッシなど高性能なものも用いられている。一方で、福島県の一般公募では1層ガラスが他県より多かった。断熱材は、壁・天井では鉱物繊維断熱材、床では発泡プラスチック系断熱材が多く使われている。その他にも木質系では、ウッドファイバーが1社・珪藻が2社で使用されている。図2の通り、床・天井・壁の断熱性能を熱抵抗値によって比較すると、各県・各組織で決められた断熱性能(福島・宮城の一般公募は天井2.0以上、床・壁1.0以上、岩手は壁も2.0以上)に達していないものが多く、各県、各会社によってばらつきがある。床の熱抵抗の平均値は一般公募と住宅部会で約0.4 m²K/W差がみられる。

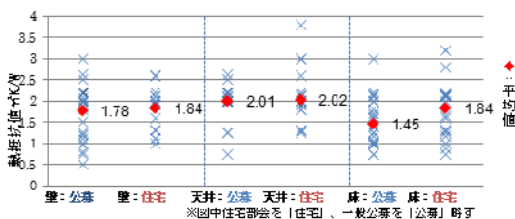


図2 熱抵抗値別建設社数

使用木材

一般公募では、地域経済の復興のため地元の木材を活用することが原則となっている。一般公募による仮設住宅に利用された木材の生産地別の建設戸数を図3に示す。宮城県ではもともと一般公募で建てられた戸数が少ないが、すべて県産の杉を利用していた。岩手県では、2,270戸中、県産材のみが702戸、1部県産材を使用しているものは1,337戸あり、主に杉・松を利用していた。福島県では4,810戸すべて県産の杉材が使用されて

いた。

さらに、解体時に資材が再利用可能であることも一般公募の原則となっている。各団体でリサイクル材として使用する資材は釘等の使用を控え、ビスによる組み立てで解体をやすくし、燃料チップやリサイクル材として再利用ができるように建設している。

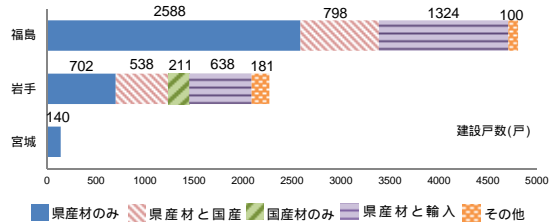


図3 一般公募仮設住宅の地域材使用状況

まとめ

各県の特徴をみると、岩手県と福島県では一般公募による応急仮設住宅の建設が多くなされ、木造の建設戸数も多い。特に福島県では、内装仕上げも木製によるものが多かった。福島県では三春町のつくる会やログハウス協会など木造に関する取り組みを進める団体があり、また、県が積極的に木造を推進したことにより木造の仮設住宅の建設が進められたと考えられる。一方、宮城県では建設戸数が多かったことから効率を重視し行政がプレ協による建設を中心に進めたため一般公募による建設戸数は少ない。

一般公募と住宅部会の木造応急仮設住宅を比較すると、住宅部会の仮設住宅は一般公募の仮設住宅と比べ断熱性能が高かった。これは、住宅部会では大手のメーカーが主体であり、基本的な技術レベルが高く、通常時においても大量受注、大量生産により、低コストな資材供給を実現しているためと考えられる。一般公募では、地域経済の復興のため地元の木材を活用することが原則となり、実際に地域材の使用量が多かった。

(2)一般住宅への転用を考慮した木造応急仮設住宅の開発

縦ログ構法の開発

調査結果から、福島県の一般公募で採用された丸太組構法は、解体・移築や材のリユース、リサイクルの観点から優れた工法であると考えられた。実際に福島原発事故に伴う避難区域解除により、移築された仮設住宅も存在する。しかし、本設する場合、丸太組構法は、国土交通省告示による技術的基準に基づき様々な制限が生じることになる。このため、丸太組構法のメリットを活かしつつ、基準法上は在来軸組構法の仕様が適用できる縦ログ構法の開発を検討した。

縦ログ構法では、壁のログ材をパネル化することで現場での施工を容易にすることが可能である。しかし現状では、これらのパネル化された壁は、耐力壁としての認定を取得していないため、壁量計算を適用することが

できない。このため耐力壁として大臣認定された壁倍率を取得することが、一般住宅として2次利用する際に必要である。このため福島ログハウス共同体と協力し、縦ログ構法の耐力壁の性能実験を行い、壁倍率の認定を取得した。

縦ログパネルは、木材の断面と性能、用途によって、まず120×180mmの平角材を用いた基本タイプを考案した¹⁾。そして平成27年度には150mm角材を用いた図4のタイプについて、性能評価試験を受審した。150mm角材を用いる利点としては、平面上のX方向、Y方向に合わせやすいことや、900mmグリットに合わせやすいこと(150×6=900)が特徴である。

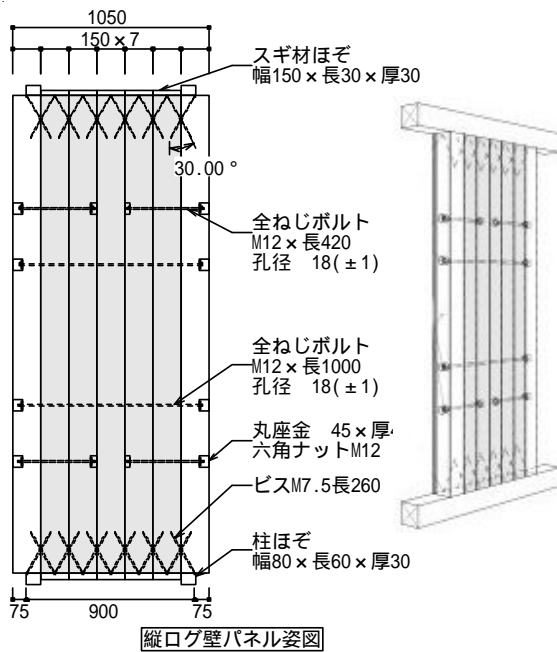


図4 縦ログパネル耐力壁

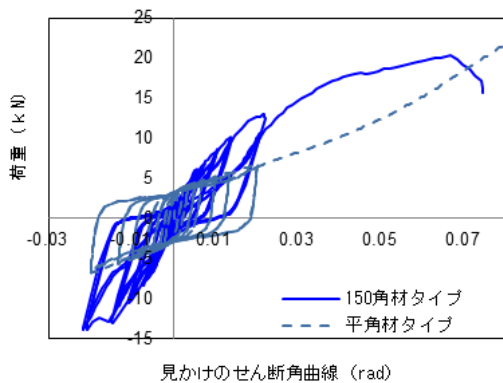


図5 荷重 - 見かけのせん断変形角曲線

平角材を用いた縦ログパネルは、通しボルトのせん断抵抗とログ材同士の摩擦抵抗を主とするもので、ログ材同士が滑り出すまでは比較的高い剛性であるが、変形角1/600rad程度でログ材同士が滑り始めると大きく剛性が低下し、その後は緩やかに耐力が増大し、1/15radを超える大変形に至っても破壊しない(図5参照)。しかし、変形性能は優れて

いる反面、初期剛性、及び最大耐力が低いため、壁倍率としては1.9倍と2.1倍とあまり高い評価にならなかった。

このため、150mm角材を用いた縦ログパネルでは、通しボルトに加えて長ビスによりログ材同士を結束し、せん断性能を高めることを検討した。しかし、細い長ビスでは曲げ変形、めり込みが生じやすく、高い剛性を得るためには多数のビスを打ち込む必要があることが明らかとなった。これでは解体性を損なうと共に、コストも嵩むことになってしまう。そのため効率的にビスを活用する方法を検討した結果、ビスを斜め打ちして引抜抵抗させる方法が有効であると考え、最終的に木口からビス(7.5×260mm)を斜めに打ち込むことによりログ材同士を拘束することとした(図4参照)。

これにより初期剛性及び最大耐力が向上し、平成28年に実施された性能評価試験及び評価より、壁長900mmタイプで4.7倍、壁長1650mmタイプで4.0倍の壁倍率の大臣認定を取得することが出来た。

縦ログ構法を用いた応急仮設住宅の開発

既往の調査²⁾において、応急仮設住宅の居住者の多くは、現在の規模を狭いと感じていることが示されている。その為、連続した空間を持ち、開放的に使うことが出来るように配慮した平面計画を図6に示す。キッチンと居間とをカーテンで仕切ること、広いLDKと収納付きの寝室1つという使い方ができるよう工夫した。居室と玄関の開口部分は引違戸による掃出し窓とし、二方向避難の確保や採光、通風といった基本的な住宅性能を確保した。

このような平面計画に図6に示すように縦ログ壁パネルを配置した。また開口部分には木ダボ接着接合によるラーメンフレームを設置し、耐力要素とした。

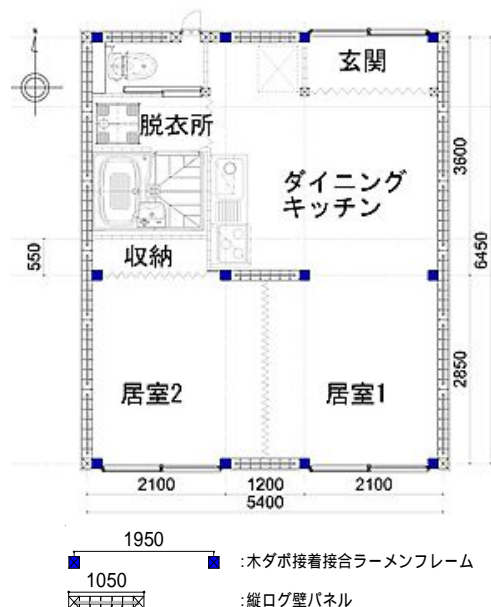


図6 縦ログ構法応急仮設住宅平面図

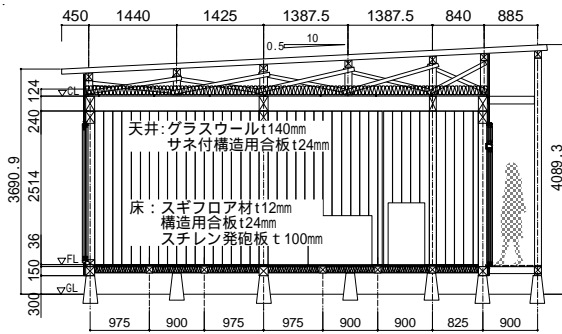


図7 縦ログ構法応急仮設住宅断面図

断面図を図7に示す。基礎部分は低コスト化と施工性を高めるため、コンクリートの独立基礎とした。床組みは水平剛性と断熱・気密性能を確保するため、大引きの間に押出法硬質スチレンフォームを落とし込み、根太を省略して厚板合板(24mm)を大引きに直張りする工法を採用した。小屋組は低コスト化と施工性を高めつつ水平剛性を確保するため、24mm厚のスギ構造用合板を梁上に張り、そのまま表として天井仕上げとした。また、屋根部分には金属折板を用いることとし、これにより小屋組の簡素化を図った。一方、金属折板の場合、結露が懸念されるため、断熱材を裏打ちした製品を用いると共に、小屋裏の通気を確保した。

縦ログ応急仮設住宅モデルの断熱性能について、外皮平均熱貫流率・日射熱取得率及び暖冷房用エネルギー消費量計算プログラムQPexを使用し温熱環境のシミュレーションを行った。加えて、既往の研究³⁾から明らかになっている鉄骨系プレハブ工法の応急仮設住宅の部位ごとの熱貫流率と比較して、どの程度の断熱性能を確保できるか検討した。断熱仕様と算定された外皮平均熱貫流率を表2に示す。

外皮平均熱貫流率は $0.61\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ となり、平成25年省エネルギー基準において4地域(岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県の沿岸部等)の基準を満たしている。鉄骨系プレハブ工法の応急仮設住宅と比較しても、縦ログ構法の応急仮設住宅は快適な温熱環境を確保できると考えられる。

表2 熱貫流率

	鉄骨系プレハブ応急仮設住宅		縦ログ応急仮設住宅	
	断熱材	U値 $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$	断熱材	U値 $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
屋根	ポリエチレン発泡板 t=40mm	0.42	グラスウール t=140mm	0.25
壁体	スチレン発泡板 t=40mm	0.79	杉材 t=150mm	0.68
床	グラスウール t=50mm	0.53	スチレン発泡板 t=100mm	0.31
縦ログ応急仮設住宅の外皮平均熱貫流率				0.61

施工状況を図8に示す。施工には重機を用いず、全ての工程が人力で行われた。震災直後の被災地においては重機や燃料等の不足が考えられ、人力で施工可能であることは応急仮設住宅の施工において重要である。

工程において、縦ログパネルが構造材と仕上げ、断熱を兼ねることから通常の在来木造構法で行われる内装工事や断熱工事が縦ログ構法においては大幅に短縮されることが

改めて確認できた。一方で、施工時の養生や寸法精度の確保が必要である。特に縦ログパネル間の隙間が懸念されたが今回は外気側の継ぎ目にシーリングし、透湿防水シートで被覆することで気密性を確保した。



パネル運搬



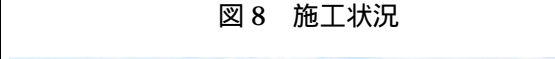
ラーメンフレーム設置



パネル設置



天井断熱・屋根材設置



外壁下地設置

図8 施工状況



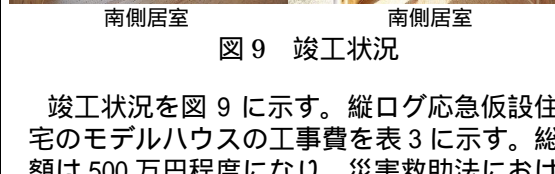
北側外観(玄関)



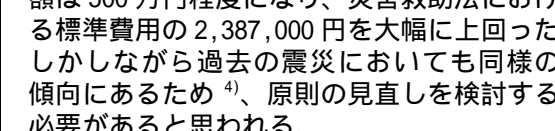
南側外観(居室開口)



玄関・キッチン



南側居室



南側居室

図9 竣工状況

竣工状況を図9に示す。縦ログ応急仮設住宅のモデルハウスの工事費を表3に示す。総額は500万円程度になり、災害救助法における標準費用の2,387,000円を大幅に上回った。しかしながら過去の震災においても同様の傾向にあるため⁴⁾、原則の見直しを検討する必要があると思われる。

表3 縦ログ応急仮設住宅工事費

仮設工事	¥294,150
基礎工事	¥262,500
ログ工事	¥567,850
屋根工事	¥400,000
木工事	¥1,570,360
建具工事	¥237,600
建材	¥543,510
塗装工事	¥139,720
電気工事	¥180,070
設備工事	¥264,440
その他雑工事	¥190,110
諸経費	¥362,440
計	¥5,012,750

まとめ

丸太組構法の応急仮設住宅に着目し、これを改良してスギ角材を縦向きに並べて連結してパネルを壁として用いる縦ログ構法を開発した。このパネル化された壁を耐力壁とするにあたり、通しボルトの拘束に加え、ログ材の木口からビスを斜め打ちして引抜抵抗させることにより、壁倍率 4 倍の高い剛性・耐力を得ることができた。

縦ログ構法を活用した応急仮設住宅モデルハウスを設計し、実際に建設して、施工性、コスト、温熱環境を評価した。壁の縦ログパネル化により構造耐力を確保すると共に内装・断熱工事が省略され、施工性の向上を確認できた。断熱性能に関しては、平成 25 年省エネ基準を満たしており、壁においては縦ログパネルのみでも十分な温熱環境を確保できる可能性が示された。一般的に、木造応急仮設住宅は鉄骨系プレハブ工法の応急仮設住宅と比較してコストが高いといわれているが、断熱材、仕上材を兼ね、さらに工期短縮を可能とする縦ログ構法を用いた応急仮設住宅には総合的なコストパフォーマンスが期待できる。

<引用文献>

- 芳賀沼整, 板垣直行: 縦ログ構法の開発と 1 時間準耐火構造耐力壁の認定取得, 住宅と木材 38(447), pp. 18-21, 2015
- 太田理樹: 災害時における木造応急仮設住宅の供給実態と課題、平成 23 年度日本建築学会近畿支部研究発表会, 計画系 (51), pp.513-516, 2011
- 海野 玄陽, 浜崎 紘嗣, 遠藤 えりか, 田辺 新一: 東日本大震災を受けて建設された応急仮設住宅の温熱環境、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 平成 24 年 (2), pp.2055-2058, 2012
- 国土交通省住宅局住宅生産課: 応急仮設住宅建設必携 中間とりまとめ, 本編, p12, 1.1.4, 2012

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

小杉大和, 板垣直行, 釜田恵理菜, 石山智: 二次利用を考慮した木造応急仮設住宅の提案 縦ログ耐力壁と木ダボ接着接合ラ

ーメンフレームの適用の検討, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, 査読無, 構造, 2016, pp. 125-126

板垣直行, 釜田恵理菜, 小杉大和, 芳賀沼整, 滑田崇志, 難波和彦, 浦部智義: 二次利用を考慮した縦ログ耐力壁の性能改良 その 2. 長ビスの引抜き抵抗を利用した検討, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, 査読無, 構造, 2016, pp. 435-436

芳賀沼整, 板垣直行, 縦ログ構法の開発と 1 時間準耐火構造耐力壁の認定取得, 住宅と木材, 日本住宅・木材技術センター, 査読無, 38(447), 2015, pp.18-21

[学会発表](計 8 件)

志村将宏, 小杉大和, 板垣直行, 芳賀沼整, 滑田崇志: 縦ログ構法を活用した応急仮設住宅の設計 -環境性能向上を図るための工法および仕様の検討-, 日本建築学会東北支部, 2017.6.18, 由利本荘市文化交流会館カダール(秋田県・由利本荘市)

釜田恵理菜, 板垣直行, 小杉大和, 芳賀沼整, 滑田崇志, 難波和彦, 浦部智義: 二次利用を考慮した縦ログ耐力壁の性能改良 その 1. ログ材の接合方法の検討, 日本建築学会, 2016.8.26, 福岡大学(福岡県・福岡市)

小杉大和, 畠山ほのか, 釜田恵理菜, 板垣直行: 二次利用を考慮した木造応急仮設住宅の提案 -縦ログ耐力壁の適用の検討-, 日本建築学会東北支部, 2016.6.18, 東北大学工学部(宮城県・仙台市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板垣 直行 (ITAGAKI, Naoyuki)
秋田県立大学・システム科学技術学部・教授
研究者番号: 00271891

(2) 研究分担者

川鍋 亜衣子 (KAWANABE, Aiko)
秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授
研究者番号: 40404850

長谷川 兼一 (HASEGAWA, Kenichi)
秋田県立大学・システム科学技術学部・教授
研究者番号: 50293494

石山 智 (ISHIYAMA, Satoru)
秋田県立大学・システム科学技術学部・助教
研究者番号: 80315647

(3) 研究協力者

芳賀沼 整 (HAGANUMA, Sei)