

研究種目：若手研究(A)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19686033
 研究課題名（和文）
 付加的な耐震性能をユーザーが選択・決定する次世代型非構造壁の実現に向けた基礎研究
 研究課題名（英文）
 Next Generation Infill Walls with Supplemental Seismic Performance Designed According to Clients' Needs
 研究代表者
 真田 靖士（SANADA YASUSHI）
 豊橋技術科学大学・工学部・准教授
 研究者番号：80334358

研究成果の概要（和文）：

付加的な耐震性能をユーザーが選択・決定し得る次世代の非構造壁を開発することを目的に、実験的、解析的に検討した。非構造壁にはブロック間の噛み合いにより一体性を保つインターロッキングブロック壁を採用し、これを水平力あるいは鉛直力抵抗性能を有する耐震デバイスとして選択的に利用するための基礎資料を収集した。結果として、壁の耐震性能はブロックの素材により制御し得ることを実験的に示した。また、インドネシアの実地震被害事例を用いて、水平力あるいは鉛直力抵抗性能を有するブロック壁の有効性を解析的に示した。

研究成果の概要（英文）：

Experimental and analytical studies were conducted to develop next generation infill walls with supplemental seismic performance designed according to clients' needs. A prototype of infill wall was designed based on an interlocking block wall capable of resisting out-of-plane loads. Fundamental data were collected to evaluate supplemental seismic performance of several kinds of interlocking block infill. As a result, their seismic performance could be controlled by materials of blocks. Moreover, focusing on an Indonesian earthquake-damaged building, analytical investigations were carried out based on the test results. Contributions of different types of infill to the seismic performance of the building were clarified through seismic risk analyses.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	9,900,000	2,970,000	12,870,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：非構造壁，ブロック壁，インターロッキングブロック，静的実験，耐震補強，地震応答解析，地震リスク解析，倒壊限界

1. 研究開始当初の背景

建物の設計が性能評価型の体系に移行しつつある世界的な流れの中、世界有数の地震国であるわが国では、こうした体系に適合する耐震設計の確立に向けた動きが活発である。建物の主要構造部材の性能を定量的に評価する意義が広く認識され、様々な機関で展開された研究が一定の成果を結びつつある。ところで、現在主流の概念では、建物の他の構成要素である非構造部材や設備機器は、主要構造部材と本質的に切り離された存在であり、被災した建物の機能性を判断する指標などとしての色合いが強い。しかし、とりわけ非構造部材は建物の耐震性能そのものに影響し、構造部材と互いに作用し合う関係であることが良識ある専門家には周知のところである。従って、将来的には非構造部材を総合した建物の性能を評価する方向に向かい、さらには、ユーザーの意思がその性能を決定する主体になるものと考えられる。

2. 研究の目的

いわゆる非構造壁は、一般に建物の耐震性能に寄与しない存在として扱われる。しかし、過去の地震被害や実験研究は、非構造壁が少なからず建物の性能に影響することを示してきた。そこで、本研究では、非構造壁による建物の耐震性能の向上効果に着目し、その真の性能を建物の付加的な性能として積極的に利用する新しい技術の開発を試みる。非構造壁の性能すなわち役割を適切に評価することで、ユーザーが期待する耐震性能を選択、決定し得る非構造壁のプロトタイプを提示する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、本研究では、インターロッキングブロックにより面外への転倒防止機構を確保した組積造ブロック壁を研究、開発対象として設定した。本構造を水平力抵抗性能、鉛直力抵抗性能を有する耐震デバイスとして選択的に利用する方法を構築するため、実験、解析を通して基礎資料の収集を計画した。

本研究に先行する予備検討によると、セメント系のブロックによる非構造壁を鉄筋コンクリート造（以下、RC）架構に適用した場合、図1に示すメカニズムにより、架構全体の水平耐力は向上するが、RC架構の損傷が促進される。すなわち、セメント系のブロック壁は水平力抵抗性能の増大に寄与するが、主体架構の変形性能を低下させる負の効果を併せ持つ。これはセメント系ブロックの剛性が比較的高いため、図1の壁斜め方向に形成される圧縮ストラットに高い応力が発生することに起因すると判断された。そこで、本

研究ではこの効果を抑制し、水平力抵抗性能には大きく貢献しないが、主体架構の変形性能を維持し、鉛直力抵抗性能の向上にも寄与するブロック壁を構築するため、図2に示す木質材料を用いたインターロッキングブロックを新たに計画した。以下では、RC架構に本ブロックによるインターロッキング壁を導入した場合の耐震性能向上効果について、実験、解析に基づき検討した結果を抜粋する。

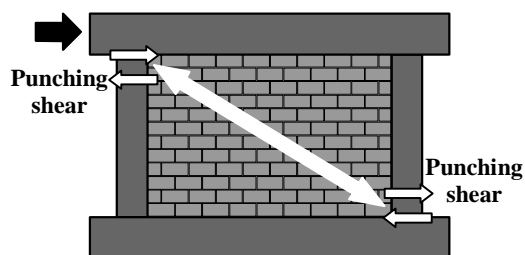


図1 セメント系ブロック壁を有するRC架構の水平力抵抗機構

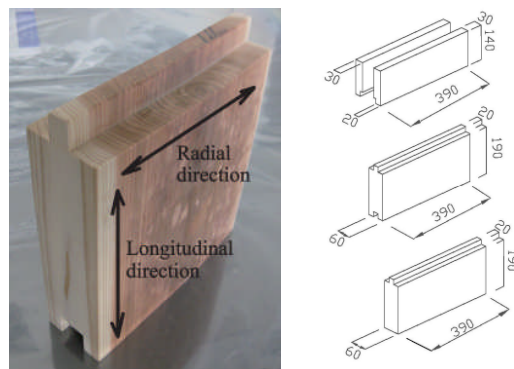
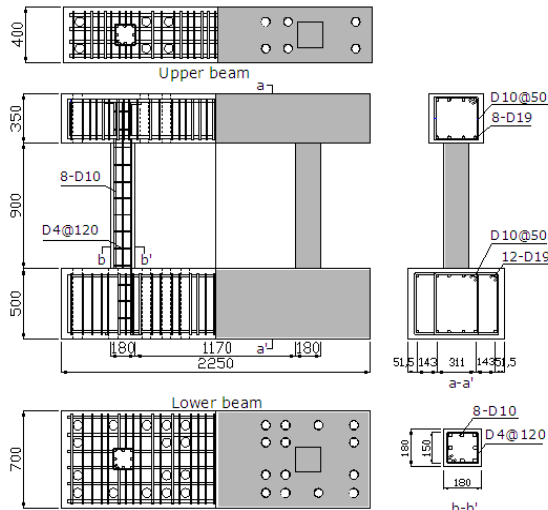


図2 木質インターロッキングブロック

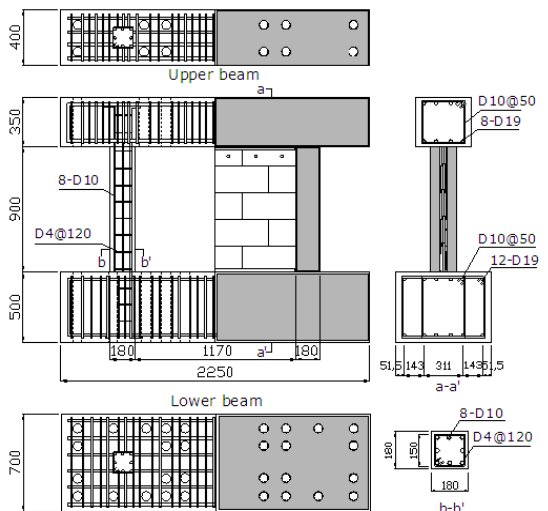
4. 研究成果

(1) 試験体計画

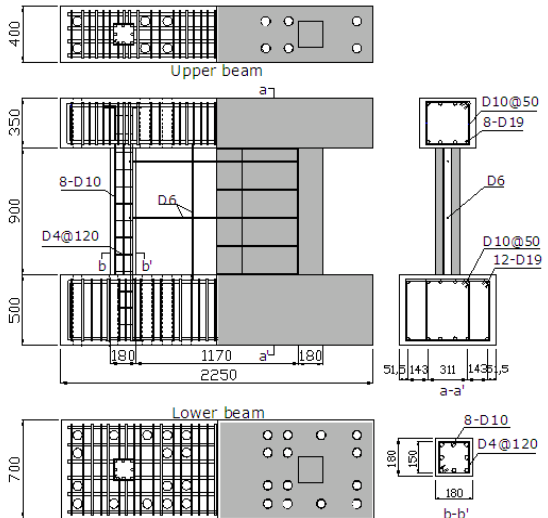
RC 建物に非構造壁を設置することを想定して、図3に示す3/10スケールのRC門型架構試験体を3体製作した。内2体の試験体に本研究で開発した木質ブロック壁と、比較のため典型的なコンクリートブロック壁を、それぞれ非構造壁として設置した。以下ではRC架構試験体をBF (Bare Frame) 試験体、木質ブロック壁を内蔵する試験体をWB (Wood Block) 試験体、コンクリートブロックを内蔵する試験体をCB (Concrete Block) 試験体と称す。図4には木質ブロック壁の設置手順を示す。図2の右側の上、中、下段に示した3種類のブロックはそれぞれ最上層、中層、最下層のブロックに相当する。とくに最上層では直下のブロックのシアキー（凸部）により組積ができないため、2分割したブロックをボルトで固定する詳細とした。また、壁が面外方向に転倒しないように上下端の隅角部にアングル材を設置した。



(a) BF 試験体



(b) WB 試験体



(c) CB 試験体

図3 試験体詳細

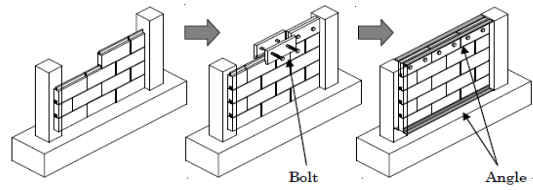


図4 木質ブロック壁の設置手順

(2) 実験方法

実験は豊橋技術科学大学の耐震実験装置を利用して実施した。図5に荷重装置と試験体の設置方法を示す。荷重方法は、鉛直方向に合計200kNの一定軸力を与え、水平方向に正負交番で静的繰り返し荷重を作用した。水平方向の荷重履歴を図6に示す。

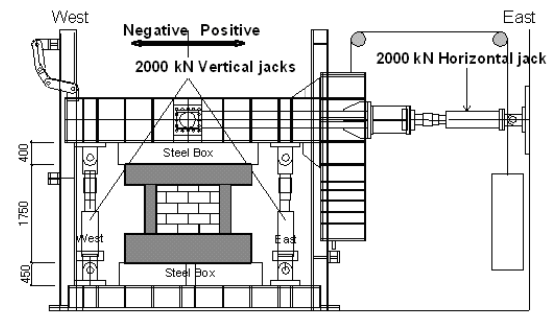


図5 荷重装置

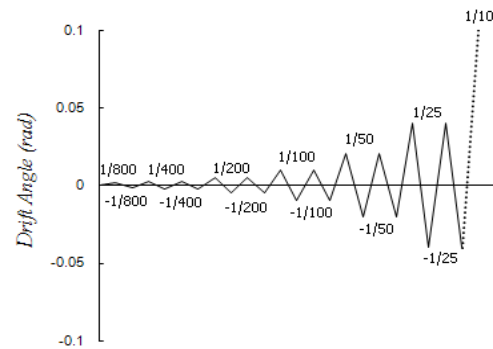


図6 水平方向の荷重履歴

(3) 実験結果

実験より得られた各試験体の性能を図7の荷重-変形関係の包絡線で比較する。また、各試験体の最終破壊状況を図8に示す。非構造壁のないBF試験体は変形角1.35%で最大耐力93.5kNを記録した後、変形角1.56%で柱がせん断破壊して軸力支持能力を喪失した。一方、WB、CB試験体では非構造壁の内蔵により、耐震性能が大幅に改善された。CB試験体は、図1で先述のメカニズムより、コンクリートブロックの内蔵により架構全体の耐力は大幅に増大したが変形性能は低下した。変形角0.7%で最大耐力223.5kNを記録した直後、柱のせん断破壊により劣化し始め、最終的に軸力支持能力を喪失した。一方、WB試験体はBF試験体と同程度の耐力を示し2.03%で柱が

せん断破壊した。従って、ブロックに剛性が低い木質材料を適用することで、CB試験体で見られた主体架構の損傷の促進を防止できることがわかる。本試験体では、柱のせん断破壊後に耐力低下が見られたが、その後耐力が回復し変形角 10%まで軸力支持能力を維持した。これは柱が負担していた軸力が、柱のせん断破壊後に木質ブロック壁に推移し、ブロック壁がブロック間の摩擦による水平力抵抗性能を発現したためである。

上記の結果は、セメント系ブロックの利用により主体架構に水平力抵抗性能を、木質ブロックにより鉛直力抵抗性能をそれぞれ付加し得ることを示している。

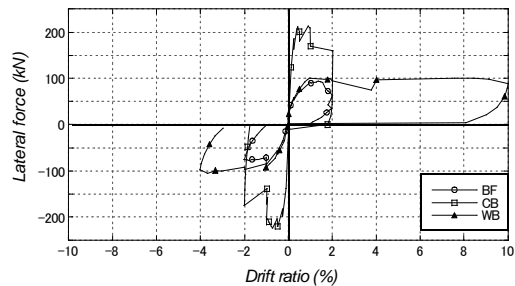
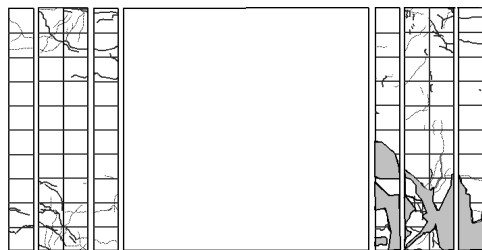
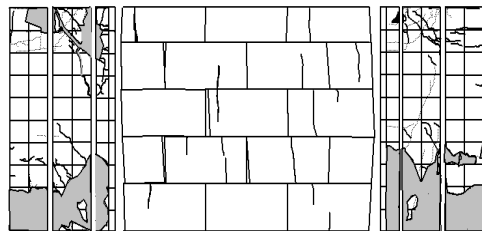


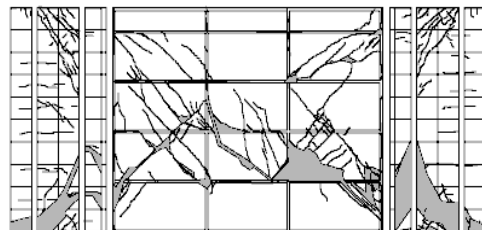
図7 荷重-変形関係の包絡線の比較



(a) BF 試験体



(b) WB 試験体



(c) CB 試験体

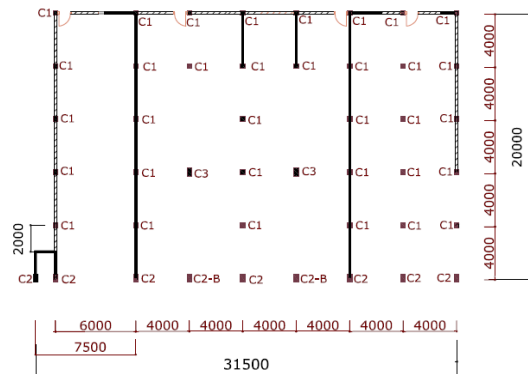
図8 最終破壊状況

(4) 解析対象建物

実験より得られた知見を受けて、とくに本研究で開発した木質ブロック壁が建物の耐震性能とくに倒壊限界性能に与える効果について解析的に検討する。解析対象として、図9に示す2007年インドネシア・スマトラ島南部沖地震で被災した3階建てのRC建物を設定した。この建物の特徴として、内外壁に一般に非構造壁として扱われるレンガ壁が多用されていることが挙げられる。また、図10には耐震診断基準等に基づき評価した建物の耐震性能を示す。



(a) 全体写真



(b) 1階平面図

図9 解析対象建物

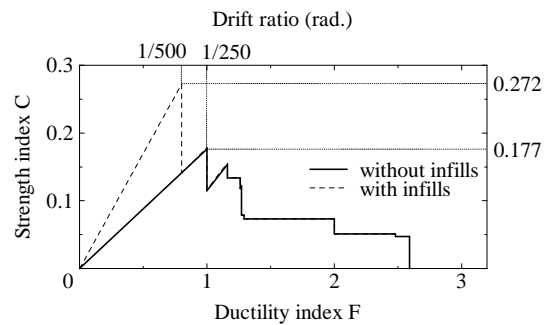
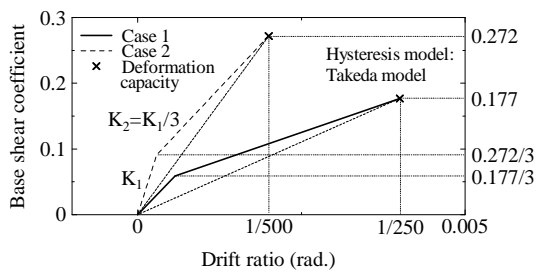


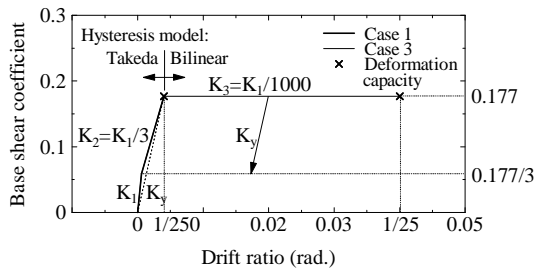
図10 建物の耐震性能の評価結果

(5) 解析方法

対象建物を1階が弾塑性、2, 3階が弾性の3質点系モデルに置換した。モデル化に際し、非構造壁を考慮しない Case1, レンガ造非構造壁を考慮する Case2, レンガ壁を本研究で提案した木質ブロック壁に置換することを想定した Case3 の3通りを考慮した。図11に各モデル1階の復元力特性モデルを示す。Case1, 2では建物1階の耐力と変形性能(倒壊限界変形)を図10の最大耐力時と定義し、履歴特性にTakedaモデルを用いた。Case3では主体架構の破壊時までにはCase1と同様に設定し、主体架構の破壊後は、先述の実験結果に基づき、木質ブロック壁が耐力を引き続き負担するものと考え、履歴特性をバイリニアモデルに置換した。



(a) Case1, Case2



(b) Case1, Case3

図11 復元力特性モデル

入力地震動として位相特性が異なる人工地震波8波を用いた。全入力地震動の加速度応答スペクトルを図12に示す。同図には上記の各解析モデルの弾性周期も併せて示した。以下の解析では、各地震動の応答加速度を設定レベルに基準化して入力した。

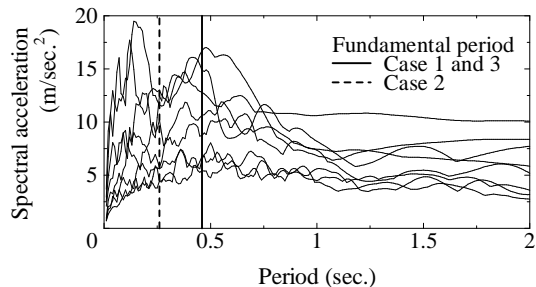


図12 加速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

(6) 解析結果

図13に解析結果の一例として同一入力下における各モデル1階の応答変位の時刻歴を示す。この場合、Case1のみが倒壊限界変形に到達したが、Case2, 3では非構造壁の設置によりこれを免れている。地震動入力レベルを段階的に設定し、各モデルの倒壊確率を求め、図14で比較した。Case1, 2の比較から、レンガ壁の設置によって建物が倒壊限界に至る入力レベルは増大したが、性能の向上程度は限定的であった。一方、木質ブロック壁を適用して建物の鉛直力抵抗性能を向上すると、倒壊に対する性能が著しく向上した。

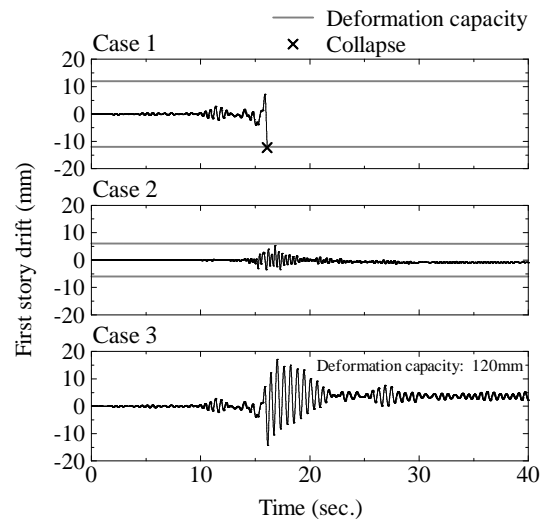


図13 解析結果の例 (1階の層間変位)

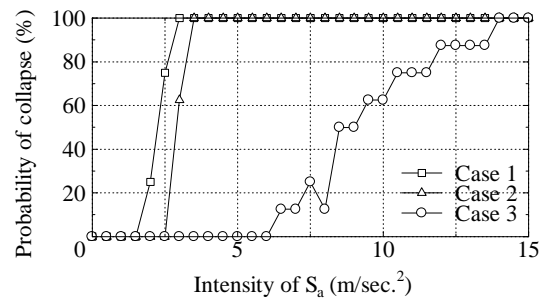


図14 倒壊確率の比較

(7) まとめ

本研究より得られた主要な成果を以下にまとめる。

1. セメント系ブロックに加え、木質ブロックによるインターロッキング壁を利用することで、非構造壁に潜在する付加的な耐震性能として、水平力抵抗性能のみならず、鉛直力抵抗性能も期待できることを実証した。
2. 木質ブロック壁は建物の倒壊限界性能の向上に著しく寄与することを解析的に示した。

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 15 件)

- ① 真田靖土, Botirjon Yorbinov, 力の計測に基づくコンクリートブロックを有する RC 架構の水平力抵抗機構の精査, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, Vol.74, No.641, 2009, pp.1335-1344
- ② Maidiawati, Yasushi Sanada, Feasibility Study on a Wood Interlocking Block Wall for Collapse Prevention, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-2 構造 IV, 2009, pp. 35-36
- ③ 真田靖土, Botirjon Yorbinov, 廣瀬泰三, 力の計測が指摘する非構造の組積造壁が周辺 RC 架構の耐震性能に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, C-2 構造 IV, 2009, pp. 939-942
- ④ 真田靖土, 山内成人, 高橋絵里, 中埜良昭, 中村友紀子, 面外への転倒防止機構を有する靱性ブロックによる増設壁の既存 RC 架構への導入効果, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, Vol.73, No.626, 2008, pp. 633-640
- ⑤ Yasushi Sanada, Botirjon Yorbinov, Taizo Hirose, Experimental Study on Seismic Performance of R/C Frames with Concrete Block Infill Panels, International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, 査読無, 2008, pp. 536-543
- ⑥ Yasushi Sanada, Botirjon Yorbinov, Taizo Hirose, Experimental Detection of a Mechanical Weak Point in Concrete Wall Structures, Proceedings of the 10th Japan-Taiwan-Korea Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures, 査読無, 2008, pp.243-250
- ⑦ Y. Sanada, N. Yamauchi, E. Takahashi, Y. Nakano, Y. Nakamura, Interlocking Block Infill Capable of Resisting Out-of-Plane Loads, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 査読無, 2008, Paper No.05-04-0018
- ⑧ Botirjon Yorbinov, Taizo Hirose, Yasushi Sanada, Structural Test of Concrete Block Infilled R/C Frames for Measuring Local Internal Forces, 第 6 回日本地震工学会大会-2008 梗概集, 査読無, 2008, pp. 34-35
- ⑨ 高橋絵里, 山内成人, 真田靖土, 中村友紀子, 靱性組積ブロックを用いた鉄筋コンクリート造架構の耐震補強に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.29, No.3, 2007, pp.1201-1206
- ⑩ Yasushi Sanada, Naruhito Yamauchi, Yoshiaki Nakano, Eri Takahashi, Testing of Reinforced Concrete Frame with Ductile Interlocking Block Infill, Proceedings of the 4th Korea-Japan Workshop on New Direction for Enhancement of Structural Performance, 査読無, 2007, pp.89-96
- ⑪ Yasushi Sanada, Naruhito Yamauchi, Eri Takahashi, Yoshiaki Nakano, Retrofitting of a Reinforced Concrete Frame Using Ductile Interlocking Blocks, First International Workshop on Performance, Protection, and Strengthening of Structures under Extreme Loading, 査読無, 2007, CD-ROM
- ⑫ 真田靖土, 山内成人, 高橋絵里, 中村友紀子, 中埜良昭, 面外への転倒防止機構を備えるブロック壁を増設した RC 架構の破壊実験その 1 ブロック壁の開発コンセプトと試験体, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 2007, pp.563-564
- ⑬ 山内成人, 高橋絵里, 真田靖土, 中村友紀子, 中埜良昭, 面外への転倒防止機構を備えるブロック壁を増設した RC 架構の破壊実験その 2 面内載荷実験の方法と柱のせん断破壊以前の挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 2007, pp.565-566
- ⑭ 高橋絵里, 山内成人, 真田靖土, 中村友紀子, 中埜良昭, 面外への転倒防止機構を備えるブロック壁を増設した RC 架構の破壊実験その 3 柱のせん断破壊以降の挙動と面外載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, 2007, pp.567-568
- ⑮ Yasushi Sanada, Naruhito Yamauchi, Eri Takahashi, Yoshiaki Nakano, Experimental Study on an Interlocking Block Infill for Retrofitting Existing Buildings, Proceedings of the Ninth Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures, 査読無, 2007, pp.121-128

6. 研究組織

(1) 研究代表者

真田靖土 (SANADA YASUSHI)
豊橋技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号: 80334358

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし