

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02330

研究課題名（和文）ネパールの世界遺産登録都市のまちなみプロトタイプ検証と景観形成・再建支援への援用

研究課題名（英文）Verification of townscape prototypes in a Nepali city listed as a World Heritage site and their application to support for landscape enhancement and reconstruction

研究代表者

山本 直彦（Yamamoto, Naohiko）

奈良女子大学・生活環境科学系・准教授

研究者番号：50368007

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ネパールのバクタプルで、自然発生的な歴史都市空間のフィールドワーク方法を確立した。そこで、歴史的景観の残存状況と原型的姿を特定した。古く重要な景観を持つ住戸群を、本研究では、「まちなみプロトタイプ」と呼んだ。都市全体を、大小のコミュニティ範囲によって切り分けていき、最終的に中庭型住居を核とした、まちなみプロトタイプの実態を明らかにした。これは、歴史の古い東部に多い一方で、比較的新しい西部では少なかった。本研究では構造、材料・構法研究も行っている。2015年地震からの再建状況を引き続きモニターすると同時に、都市型住居の耐震性能についても、特に隣接建物を持つ条件を考慮して明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、歴史資料が乏しいアジアの歴史都市の都市空間形成史を、現状調査のみで解明する研究手法を確立したことである。特にネパールの歴史都市で、歴史的景観を形成する住戸群を特定できた。社会的意義は、まず、2015年ゴルカ・ネパール地震によって大きな被害を受けた歴史的市街地の再建に向けて、ネパールの都市をかたちづくる原型的な近隣空間構成を特定したことにある。一方で、継続的に復興再建状況を記録し、都市型住居や景観の変化にも留意してきた。工学的には、地震被害を受けた伝統工法による都市型住居の耐震性能を明らかにした。完全倒壊住居の再建や部分倒壊住居の修繕への知見となるものである。

研究成果の概要（英文）：This study established a fieldwork methodology for naturally planned historical urban spaces in Bhaktapur, Nepal. The study identified the surviving status and original appearance of the historical landscape. A group of dwelling units with old and important landscapes was referred to as a "townscape prototype" in this study. The entire city was classified into several community levels from large to small areal extents, and finally, it was clarified that the actual formation of the townscape prototypes started from the courtyard-type dwellings as the core. The large number of these prototypes are found in the eastern part of the city, whereas there are few of them in the western part, which was later expansion.

This study also includes structural and material/construction studies; we continue to monitor the reconstruction from the 2015 earthquake, as well as clarify the seismic performance of urban dwellings, especially considering the condition of having adjacent buildings.

研究分野：建築計画・都市計画

キーワード：ネパール バクタプル 世界遺産 まちなみ保全 再建支援 常時微振動計測 無補強煉瓦造住宅 材料実験

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、研究者個人に帰属します。

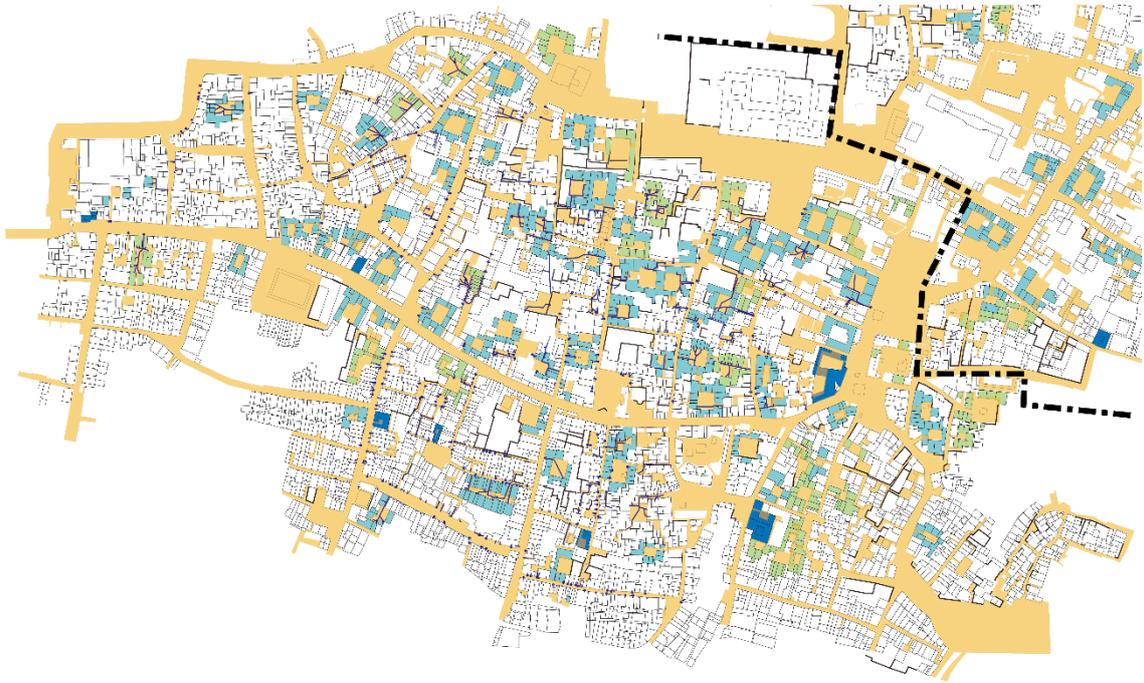


図2 バクタプル西部の中庭型住戸群の分布と屋敷神礼拝圏

図2で青、緑、黄緑ハッチの住戸群は中庭型住戸群のバリエーションである。同じ屋敷神を礼拝する住戸が線で結ばれている。屋敷神を共有するのは中庭型住戸群がほとんどであると分かる。

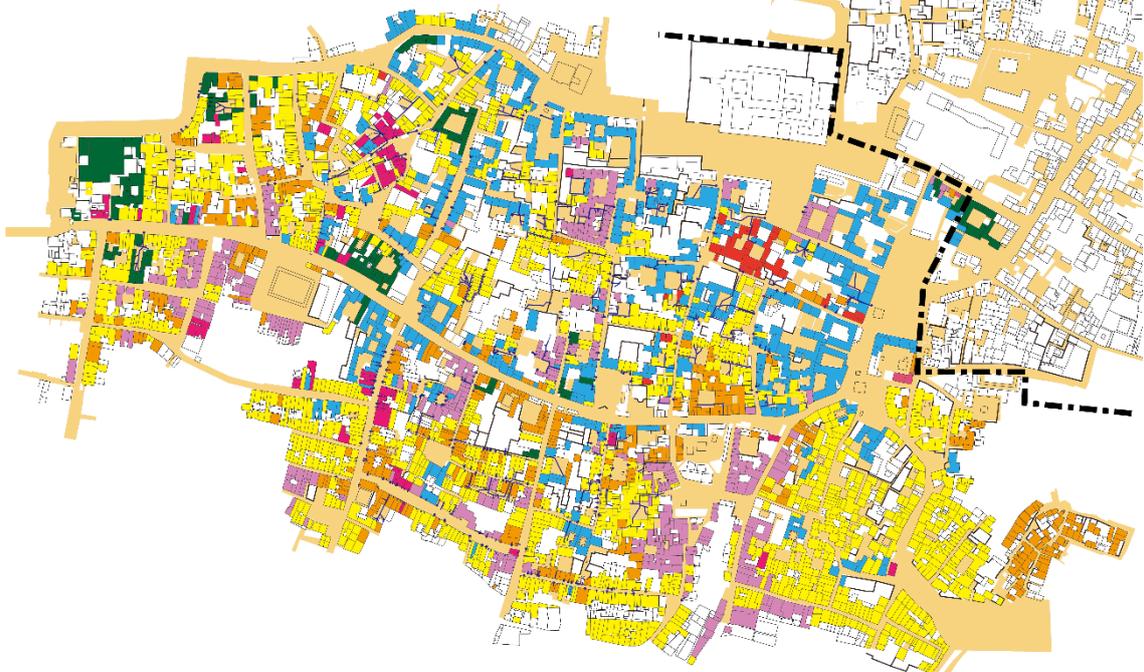


図3 バクタプル西部の同一社会階層住戸分布(カウンターパートのクウォパ工科大による)

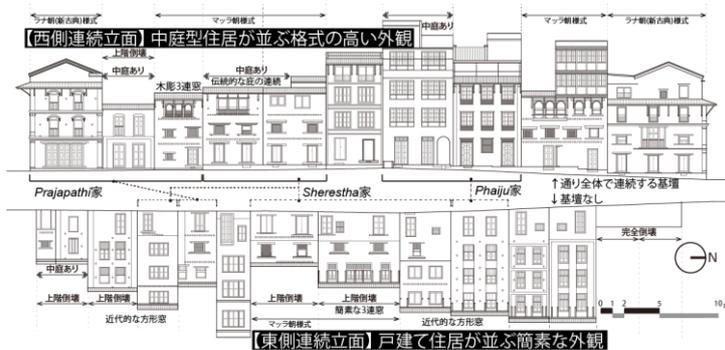


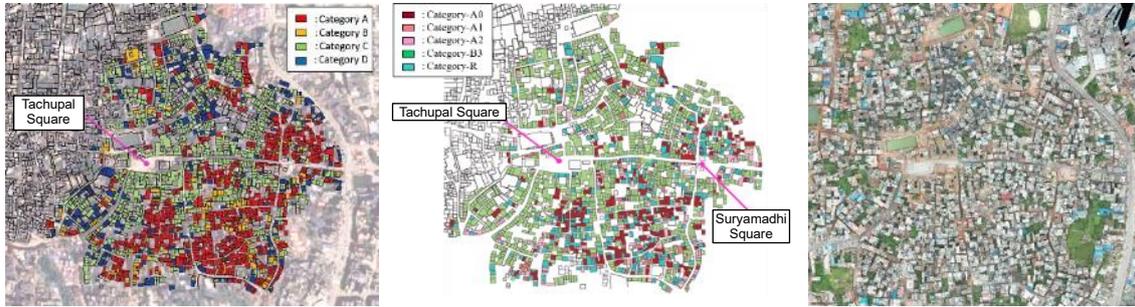
図4 バクタプル東部のまちなみプロトタイプ連続立面図

西部では東部ほど明快な住戸集住類型クラスター分布が確認できなかった。東部については、既発表論文 (DOI <https://doi.org/10.3130/aijt.28.1414>) に掲載したので、ここでは省略したい。こうした候補が、真に同一の親族クラスターかは、さらに職業姓等の聞き取りで検証する必要がある。

図2の各中庭型住戸群とその街路反対側の住戸が、同一社会階層に属するかどうか図3に示した調査結果と照らし合わせ確認した。凡例は掲載を控えたい。その結果、図3右上の比較的高い社会階層の居住地区で、まちなみプロトタイプ候補である中庭型住戸群を核とした「住戸集住類型クラスター」が散在することが確認できたが、街路両側の社会階層が異なる場合も多く、

(2) 構造分野

バクタブルの旧市街地の東側、タチュパル広場を中心とする街区は、2015年ネパール・ゴルカ地震により、多数の歴史的な煉瓦造住宅建築物が甚大な損傷被害を受けた。震災直後に本研究担当者らが、当該エリアで実施した被災地調査では、50%近くの建物が、解体・再建が必要と考えられるような、崩壊／甚大損傷状態に至っていることを確認している（図5(a)）。地震後には、これら甚大な構造被害を受けた、多くの歴史的な煉瓦造住宅建築物の建替や再建が急速に進められ、2018年までに実施した再建状況調査の段階では、その半数近くの新築再建が確認された（図5(b)）。2023年の現地調査の際に、同エリアでUAV空撮による現状視認を行った結果、当該エリアでは、ほぼ大半の被災建物の再建がなされていることが確認できた（図5(c)）。



(a) 被害状況 (2015年10月) (b) 再建状況 (2018年9月) (c) 空撮 (2023年9月)

図5 2015年のネパール地震以降のバクタブルの旧市街地の変遷

地震で被災した建物の再建により、鉄筋コンクリート骨組補強による煉瓦造建物（以下、RCM）への建替わりが急速に進んでおり、震災後にも残存していた歴史的構法の無補強煉瓦造建物（以下、UM）とRCMとが不規則に隣接する状況が生じることとなり、在来のUM住宅から見ると、構造的な一体性や連続性の低下が、構造的脆弱化を引き起こすことが懸念されている。バクタブルの歴史的な住宅建築の多くは、中庭型テラスハウス群を構成しており、図6に示すように、大半の建物が2面の戸境壁を隣戸と共有または密着して建てられてきた。そのため建替えにより、ある住戸の構造特性が変化すると、隣接する在来の建物の構造特性にも変化をもたらす可能性が高く、こうした影響を適切に評価することが、新たな重要課題になってきている。

そこで、震災前から残存しているUMの住戸を対象として実施した常時微動計測のデータ分析に基づく各住戸の振動特性評価を行うとともに、図7に示すように、これら計測対象建物の固有振動数を簡易に推定するための数値モデルを構築して、固有値解析結果との比較検討により、計測建物の構造健全度評価や、隣接建物から受ける影響度検定のために、調査対象建物群の構造特性の現況を、振動性状からスクリーニングする手法を試みた。すなわち、それぞれの建物のファサード(Y)方向、奥行き(X)方向の1次固有振動数について、平均計測値と平均解析値の比を補正係数として求め、各建物について、計測値の解析値に対する補正振動数比を指標とし、計測建物の構造面での状況の評価した（図8）。震災前ないし後に、(伝統的構法での)大規模な改修がなされていた建物3,7において指標が高くなる傾向があり、震災で屋根ないし上層階が大破し、計測時も損傷状態にあった建物8,9において指標が低くなる傾向が確認された。このように、材料、構法、改修履歴などの影響による不確実性が高い、ノンエンジニアド建築においても、振動計測に基づく構造スクリーニングのための当該手法の有意性が示唆された。

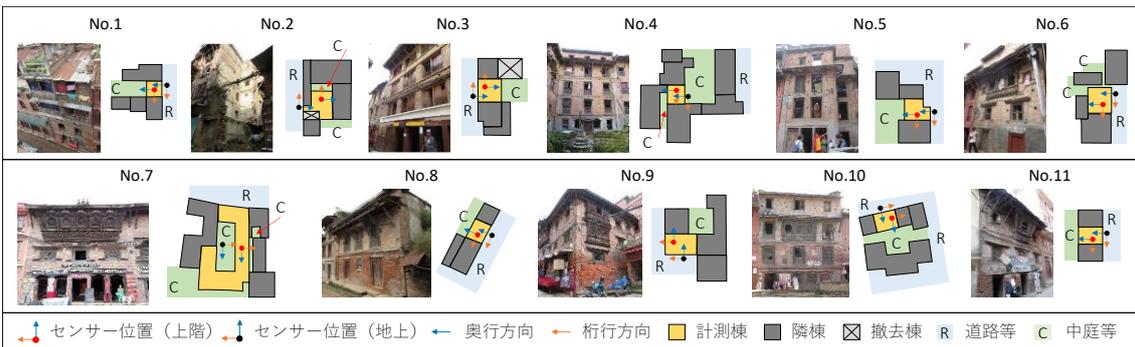


図6 構造調査対象として選定した歴史的煉瓦造建築の外観と隣戸との連担関係

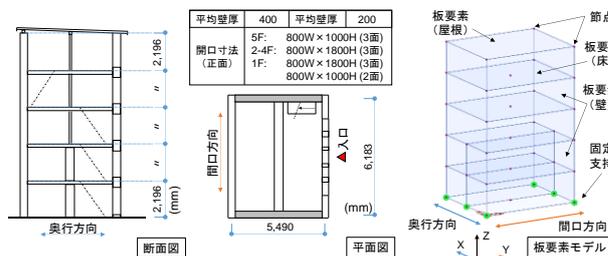


図7 数値解析モデルの概要

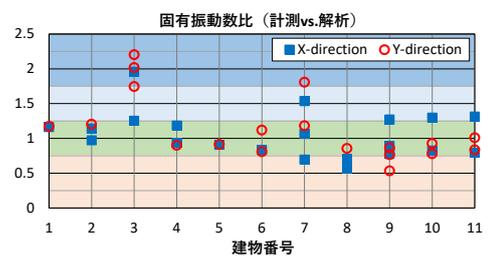


図8 固有振動数比(計測値 vs.解析値)

(3) 材料・構法分野

仕上材料・構造材料としてレンガが都市景観で重要な役割を担うバクタブルについて、レンガの色をはじめとする各種性質について、特に影響を及ぼすと考えられる焼成温度との関係を把握した。試験体は、バクタブル周辺のレンガ工場A・Bから持ち帰った日干しレンガを粘土に戻して作製した。また、工場Cの焼成レンガとの比較も行った。工場A・Bで用いられている粘土は、化学組成および粒度分布はほぼ同じであり、日干しレンガの製造が可能な粒度分布(図9)であることが確認できた。日干しレンガの圧縮強度(図10)について、工場A(手成形)と工場B(機械成形)を比較した結果、手成形の方は密度が低く、強度も低い傾向があり、製造方法の影響が確認できた。焼成レンガの圧縮強度は手成形のため密度や強度にバラつきが多く確認された。

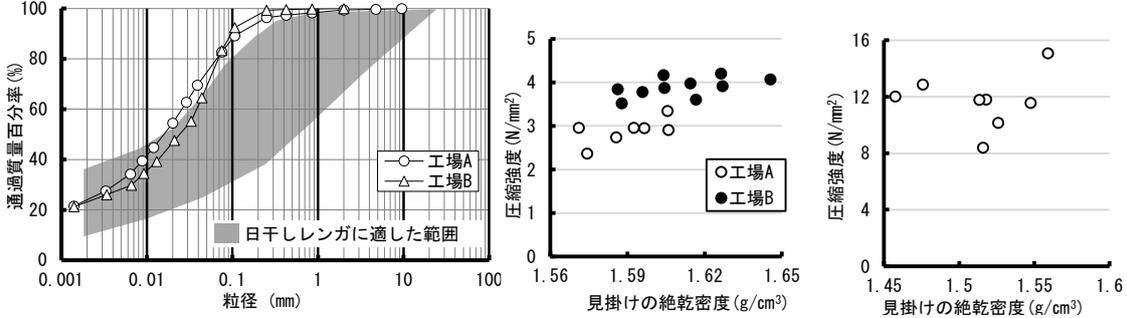


図9 粒度分布 図10 見掛け密度と圧縮強度の関係(左)日干しレンガ(右)焼成レンガ

工場A・Bの粘土から再成形した試験体で、焼成温度と各種性質の関係(図11)を確認した。焼成温度が高くなるに従い、大きく収縮し、密度は高くなり、1100℃以上でその傾向は顕著であった。温度の上昇に伴い、吸水率・煮沸吸水率の低下と曲げ強度の上昇も同様に確認された。これらの性質の変化は密度の変化によるものと考えられ、密度との間に高い相関関係が確認できた。ASTMで規定される耐候性の指標である煮沸吸水率と飽和係数をみると、カトマンズ盆地の気温と降水量では、凍害のリスクは低いと考えられるが、1100℃前後で焼成することで、ASTMに規定されるMW(中程度の耐候性)を満たせる可能性が確認できた。色味(図12)は1000℃以上でL*が徐々に低下し暗い色味になっていき、a*、b*ともに1000℃でピークになり、その後1200℃に向けて低下していくことが確認できた。この傾向は、工場A・Bに共通していた。湿潤状態では、乾燥状態の色と比較して、L*は全温度帯で低下しており、b*は1100℃より低い温度帯において低下する傾向が確認できたが、a*はほとんど変化が無い。L*、a*、b*と密度、吸水率、曲げ強度(図13)との関係を整理すると、L*、b*との間には比較的高い相関が確認され、レンガの性質を診断するうえで色成分の定量値を用いることが重要であることが確認できた。バクタブルの建物に使われているレンガの状況から、この地域ではレンガの色が明るく、黄色～橙色に近い場合に劣化が起こりやすく、明度L*の低い色であれば耐久性が高い可能性が推察された。今後現地での表面観察・色分析と、一部破壊検査や抜き取り検査を実施することで、バクタブル周辺で製造されるレンガの品質管理や既存建物のレンガの診断に生かせる可能性があることが分かった。

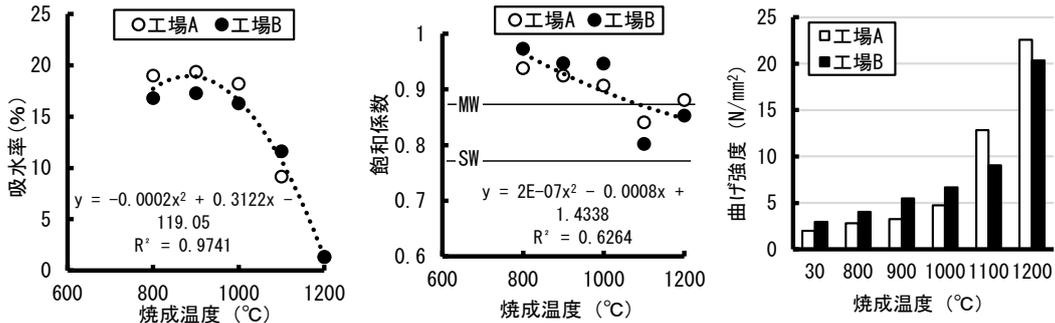


図11 焼成温度と各種性質の関係(左)吸水率(中央)飽和係数(右)曲げ強度

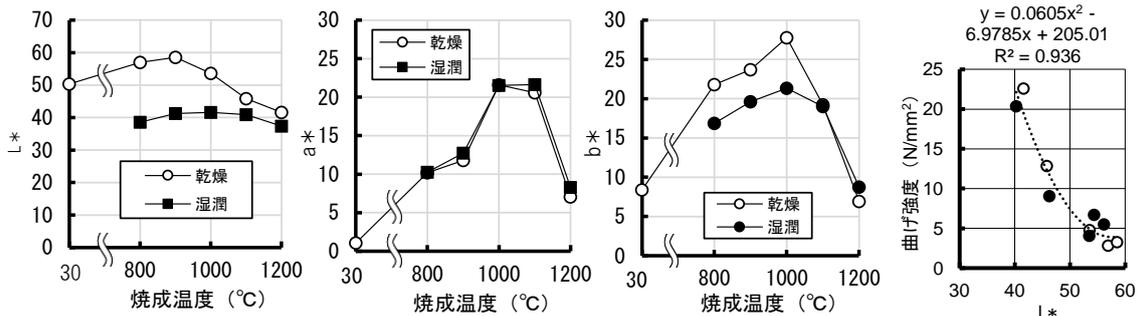


図12 L*, a*, b* と焼成温度の関係(工場A) 図13 L*と曲げ強度の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Hamaoka Asuka, Yamamoto Naohiko, Yoshida Tetsuya, Miyauchi Anri, Masui Masaya, Mukai Yoichi	4. 巻 6
2. 論文標題 Typology on exterior design of townhouses in a World Cultural Heritage Site of a Nepali City	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2475-8876.12411	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamamoto Naohiko, Takahashi Kayo, Masui Masaya, Miyauchi Anri, Mukai Yoichi	4. 巻 6
2. 論文標題 Exterior design of townhouse and their extension/reconstruction process with regard to eaves types in a World Cultural Heritage site of a Nepali city	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2475-8876.12395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 宮内杏里、山本直彦、増井正哉、鈴木裕子、向井洋一、スワル・ラム	4. 巻 28
2. 論文標題 ネパールの歴史都市における都市街区形成過程の把握と検証の手法 - バクタプル旧市街の街路を事例として -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 1414 ~ 1419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.28.1414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Mukai Yoichi, Hoshino Hayato, Yamamoto Naohiko, Masui Masaya, Miyauchi Anri, Suwal Ram Prasad	4. 巻 8
2. 論文標題 Investigation of microtremors observed at historic masonry townhouse buildings after Nepal earthquake	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbui.2022.918960	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 HOSHINO Hayato, MUKAI Yoichi, TAKEUCHI Masato, YAMAMOTO Naohiko, MASUI Masaya, MIYAUCHI Anri, SUWAL RamPrasad	4. 巻 28
2. 論文標題 OBSERVATION OF HISTORICAL MASONRY HOUSE BUILDINGS IN NEPAL BY MICRO-TREMOR MEASUREMENT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AIJ Journal of Technology and Design	6. 最初と最後の頁 685 ~ 690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.28.685	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 鈴木 裕子 / 山本 直彦 / 中川 結貴 / 宮内 杏里 / スワル ラム / 向井 洋一 / 増井 正哉
2. 発表標題 ネパールの世界文化遺産登録都市における外観意匠に関する研究その11 村落パナウティにおける庇タイプからみた住戸の更新履歴
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐久間 実季 / 山本 直彦 / 鈴木 裕子 / 中川 結貴 / 宮内 杏里 / スワル ラム / 向井 洋一 / 増井 正哉
2. 発表標題 ネパールの世界文化遺産登録都市における外観意匠に関する研究その12 バクタブル旧市街における庇タイプからみた都市空間の更新実態
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川 結貴 / 山本 直彦 / 鈴木 裕子 / 宮内 杏里 / スワル ラム / 向井 洋一 / 増井 正哉
2. 発表標題 ネパールの世界文化遺産登録都市における外観意匠に関する研究その13 上階増築を経た庇タイプをもつバクタブルの町家における住まい方の変化
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮内 杏里 / 山本 直彦 / 鈴木 裕子 / 中川 結貴 / Suwal Ram / 向井 洋一 / 増井 正哉
2. 発表標題 ネパール・バクタブルの都市組織の構成 その8 小都市ポデにおける祭祀ティハールのクシャトラパラ共有接続線から見た都市形成過程
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 向井洋一 / Ram Prasad Suwal / 山本直彦 / 増井正哉 / 宮内杏里
2. 発表標題 ネパールにおける増改築がなされた歴史的煉瓦造住宅建築の常時微動計測に基づく周波数応答の分析
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 向井 洋一, 星野 隼人, 山本 直彦, 増井 正哉, 宮内 杏里
2. 発表標題 2015 年ネパール地震によるバクタブル市の建物被害に関する構造調査研究 (その6 歴史的煉瓦造建築における各階常時微動応答の比較)
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向井 洋一, 星野 隼人, 山本 直彦, 増井 正哉, 宮内 杏里
2. 発表標題 2015 年ネパール地震によるバクタブル市の建物被害と復興に関する調査研究 その4 歴史的煉瓦造建築における常時微動計測と数値モデルによる固有値解析
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 星野 隼人, 向井 洋一, 山本 直彦, 増井 正哉, 宮内 杏里
2. 発表標題 2015 年ネパール地震によるバクタブル市の建物被害に関する構造調査研究 (その5 数値解析モデルを用いた歴史的煉瓦造建築の振動特性評価)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演 (関東)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 向井 洋一, 星野 隼人, 山本 直彦, 増井 正哉, 宮内 杏里, Ram Prasad Suwal
2. 発表標題 カトマンズ盆地における歴史的構法による煉瓦造住宅建物の常時微動計測に基づく振動性状評価
3. 学会等名 日本地震工学会・大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	向井 洋一 (Mukai Yoichi) (70252616)	神戸大学・工学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	中村 航 (Nakamura Wataru) (50824538)	足利大学・工学部・講師 (32201)	
研究分担者	増井 正哉 (Masui Masaya) (40190350)	京都大学・人間・環境学研究科・名誉教授 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	パント モハン・モールティ (Pant Mohan Moorti)		
研究協力者	スワル ラム・プラサード (Suwal Ram Prasad)		
研究協力者	宮内 杏里 (Miyachi Anri) (20995352)	新潟大学・工学部建築プログラム・助教 (13101)	

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			
ネパール	Khwopa Engineering College	Nepal Engineering College	Bhaktapur Municipality	他1機関