

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（海外学術調査）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04592

研究課題名（和文）2015年ネパール・ゴルカ地震で被災した学校建物の復旧技術に関する調査研究

研究課題名（英文）Study on the techniques for improving the seismic resistance of school buildings damaged by 2015 Nepal-Gorkha earthquake

研究代表者

荒木 慶一（Araki, Yoshikazu）

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：50324653

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：現地からの強いニーズに応えるべく、2015年ネパール・ゴルカ地震で甚大な被害が発生したネパール山岳地帯の不整形石積組積造の学校建物に焦点を当て、耐震性評価・向上技術を現地の技術者が適用するための研究資料を整備した。

不整形石積組積造建物の耐震安全性確保に向けた諸課題の解決に向けて、不整形石積組積造建物の耐震化工法とコスト、耐震設計規準、要求耐震性能の歴史的変遷と2015年の地震の前後の状況に焦点を当て、現地で建物の被災状況の調査とヒアリング調査、耐震設計規準や関連文献のレビュー詳細かつ系統的なレビュー、不整形石積組積造建物を中心とする設計例の具体的な分析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して、ネパールの将来を担う子供達の安全確保と、耐震教育の波及効果による将来的な建築ストックの耐震化促進に貢献する。

研究成果の概要（英文）：To meet the strong needs from the local community, we prepared research materials on the techniques for evaluating and improving the seismic resistance of rubble stone masonry school buildings located in mountain regions in Nepal, severely damaged by the 2015 Nepal-Gorkha earthquake.

To resolve the issues for ensuring seismic safety of rubble stone masonry buildings, we performed (1) a field survey of the the local buildings damaged by the 2015 Nepal-Gorkha earthquake, (2) detailed and systematic review of the seismic design standards and the literature, (3) a detailed analysis of the design examples of a rubble stone masonry school. The main focus of the study was on the historical transitions of the seismic design standards before and after the 2015 Nepal-Gorkha earthquake.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：ネパール 不整形石積組積造 学校建物 山岳地帯

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2015年4月に発生したネパール・ゴルカ地震では、8千人を超える死者が出るなど甚大な人的被害が発生した。被害者の死因の多くは耐震性の低い組積造建物の崩壊であることが報告されており、これらの建物の耐震性向上が最重要課題であることが改めて指摘されている。

ネパールの組積造建物は、(1)強度の高い焼成煉瓦とセメントモルタルを用いた煉瓦積組積造と、(2)天然の石材と泥モルタルを用いた石積組積造に大別できる。ネパールの国土のほとんどは交通事情が極めて悪い山岳地帯に属しており、これらの地域では煉瓦・セメント・鉄筋等の建設資材の運送・供給コストが高くなる。そのため、石材と泥モルタルを用いた石積組積造が広く普及しているが、これらのほとんどは山岳地域において広く採用されている不整形石積組積造(Rubble Stone Masonry, RSM)の建物である。

2015年ネパール・ゴルカ地震では約6000の学校建物に大きな被害が出たことも報告されているが、これらの建物の耐震性評価に関する研究資料は極めて限られている。このような状況の下、RSM建物の耐震性評価のための研究資料の整備がネパール国内外の関係者から強く求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では現地からの強いニーズに応えるべく、2015年の地震で甚大な被害が発生したネパール山岳地帯のRSM積造の学校建物に焦点を当て、耐震性評価・向上技術を現地の技術者が適用するための研究資料を整備することを目的とする。

本研究を通して、ネパールの将来を担う子供達の安全確保と、耐震教育の波及効果による将来的な建築ストックの耐震化促進に貢献する。

### 3. 研究の方法

本研究では、ヒマラヤ山岳地帯で広く普及するセメントモルタルを用いたRSM建物の耐震安全性確保に向けた諸課題の解決に向けて、RSM建物の耐震化工法とコスト、耐震設計規準、要求耐震性能の歴史的変遷と2015年ネパール・ゴルカ地震の前後の状況に焦点を当て、①現地での建物の被災状況の調査とヒアリング調査、②耐震設計規準や関連文献のレビュー詳細かつ系統的なレビュー、③RSMを中心とする設計例の具体的な分析を行った。

### 4. 研究成果

#### 4.1 耐震設計指針・マニュアルのレビュー

1972年から2017年までに国際学協会などから出版されたRSM学校建物の47の耐震設計指針・マニュアルのレビューを行い、各指針・マニュアル間の類似点や相違点と矛盾を整理した。第3章では、世界57カ国の325のRSM学校建物・住宅の耐震規準をレビューし、RSM建物の設計と建設に関わる仕様や要求性能を比較検討した。

#### 4.2 RSM建物の建設コストの分析

本研究の主対象であるネパールのような途上国における建物の耐震化でクリティカルとなるRSM建物の建設コストの分析を行った。RSM建物に加える水平補強筋の数が建設コストに与える影響はわずかであることや、山岳地域への運搬が容易でないセメントのコストが重要になることなど、当初の予測と反する結果が得られたことは注目に値する。これらは本研究課題の

研究協力者であるMartijn SchildkampとDamodar Thapaがネパール・カスキ郡で設計と建設を主導した19の建物(図1)の設計資料の精査結果に基づく現地での被災状況の調査と、現地での住民・職人へのヒアリング調査の結果に基づくものである。ここで得られた成果は、通常時の新築や大地震後の建て替え時の耐震化に要するコストを見積もる上で、他に類例がない工学上貴重な研究資料として位置付けられる。

#### 4. 3 RSM建物への要求性能の分析

RSMの学校建物と住宅の地震荷重の設定について、現在もRSM建物の建設を許容しているネパール、インド、パキスタン、アフガニスタン、中国、タジキスタン、イラン、トルコ、クロアチアの要求性能の比較分析と、簡易モデルを用いた設計例による検討を行った。その結果、ヒマラヤ山岳地帯のRSM建物は木造の軽量床が用いられているにも関わらず、床重量が多く割合を占める一般的な建物を対象とした地震荷重の設定法を用いているために矛盾が生じていることを示した。

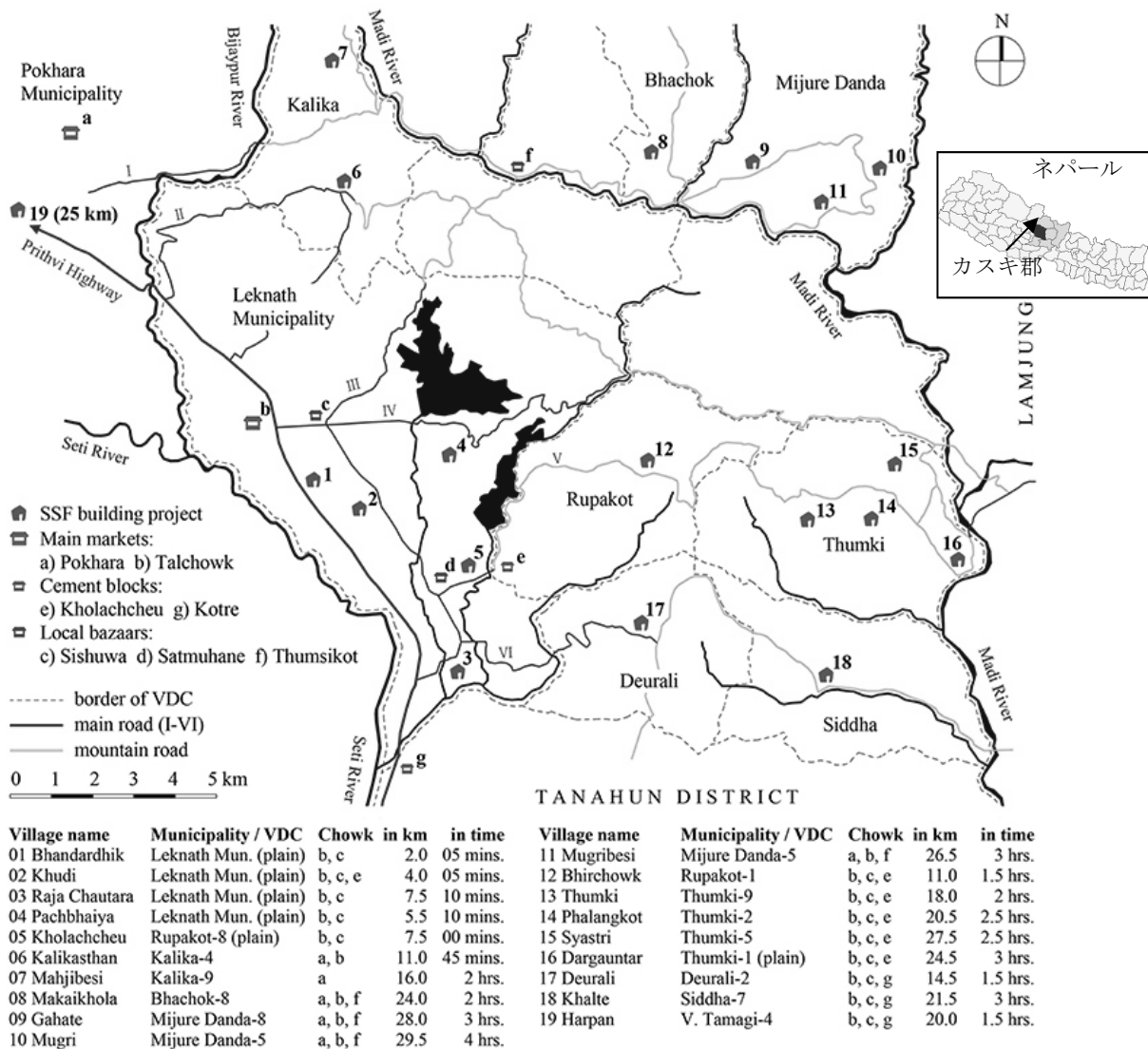


図1 ネパール山岳地帯(カスキ郡)でSchildkampとThapaが建設した組積造建物のリスト

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Schildkamp Martijn, Silvestri Stefano, Araki Yoshikazu	4. 巻 7
2. 論文標題 Rubble Stone Masonry Buildings with Cement Mortar: Base Shear Seismic Demand Comparison for Selected Countries Worldwide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2021.647815	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 Schildkamp Martijn, Silvestri Stefano, Araki Yoshikazu	4. 巻 6
2. 論文標題 Rubble Stone Masonry Buildings With Cement Mortar: Design Specifications in Seismic and Masonry Codes Worldwide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2020.590520	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 Schildkamp Martijn, Araki Yoshikazu	4. 巻 5
2. 論文標題 Cost Analysis of Mountain Schools in Nepal: Comparison of Earthquake Resistant Features in Rubble Stone Masonry vs. Concrete Block Masonry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2019.00055	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 Schildkamp Martijn, Araki Yoshikazu	4. 巻 5
2. 論文標題 School Buildings in Rubble Stone Masonry With Cement Mortar in Seismic Areas: Literature Review of Seismic Codes, Technical Norms and Practical Manuals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuil.2019.00013	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0件

〔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	S a n j a y P A R E E K  (Pareek Sanjay)  (20287593)	日本大学・工学部・教授    (32665)	
研究分担者	李 相勳  (Lee Sanghun)  (20377807)	東北学院大学・工学部・教授    (31302)	
研究分担者	五十子 幸樹  (Ikago Kohju)  (20521983)	東北大学・災害科学国際研究所・教授    (11301)	
研究分担者	高木 次郎  (Takagi Jiro)  (90512880)	東京都立大学・都市環境科学研究科・准教授    (22604)	

	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	シルドカンブ マルティン  (Shildkamp Martijn)	S m a r t S h e l t e r F o u n d a t i o n	
研究協力者	タッパ ダモダ  (Thapa Damodar)	S e e d F o u n d a t i o n	

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	シルベストーリ ステファノ  (Silvestori Stefano)	University of Bologna	

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1件

国際研究集会	開催年
Mini-symposium in the 17th World Conference on Earthquake Engineering, Non-Engineered 2.0	2021年～2021年

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			
オランダ	Smart Shelter Foundation			
イタリア	University of Bologna			
ネパール	Seed Foundation			