

# ネパール・ゴルカ地震によるパタンJhatapol地区の 歴史的組積造建物群の被災度分析

Damage Analysis of Historic Masonry Buildings in Jhatapol Area of Patan  
during the Gorkha Earthquake, Nepal

古川愛子<sup>1</sup>・花房陸斗<sup>2</sup>・清野純史<sup>3</sup>・R.R. Parajuli<sup>4</sup>・H.R. Parajuli<sup>5</sup>・土岐憲三<sup>6</sup>

Aiko Furukawa, Rikuto Hanafusa, Junji Kiyono, R.R. Parajuli, H.R. Parajuli and Kenzo Toki

<sup>1</sup>京都大学准教授 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

Associate Professor, Kyoto University, Dept. of Urban Management

<sup>2</sup>京都大学修士課程学生 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

Master Course Student, Kyoto University, Dept. of Urban Management

<sup>3</sup>京都大学教授 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

Professor, Kyoto University, Dept. of Urban Management

<sup>4</sup>トリブバン大学非常勤講師 工学部 (Thapathali, Kathmandu, Nepal)

Lecturer, Institute of Engineering, Tribhuvan University, Nepal

<sup>5</sup>ネパール政府 復興庁 (Singha Durbar, Kathmandu, Nepal)

National Reconstruction Authority, Government of Nepal, Kathmandu, Nepal

<sup>6</sup>立命館大学教授 衣笠総合研究機構 (〒603-8341 京都市北区小松原北町58)

Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

On April 25, 2015, a Mw 7.8 earthquake struck the Gorkha district in Nepal. Prior to the earthquake, the authors conducted building survey for 91 historic masonry residential buildings in Jhatapol area in Patan. After the earthquake, the authors conducted damage survey for those buildings. It was found that unreinforced masonry building had damage but confined masonry buildings had no damage. It was also found that the buildings located at the corner have severer damage than the buildings with two adjacent buildings on both sides. The fragility curves proposed in the past research were found to estimate structural damage in the safety side.

**Keywords:** historic masonry building, Jhatapol area, Patan, damage survey, Gorkha Earthquake, Nepal

## 1. はじめに

ネパールのカトマンズバレーは、カトマンズ、パタン、バクタプルというかつての主要な3つの王宮都市からなるネパール文化の中心地である。急激な人口の増加に伴って景観が破壊されつつあるとして、2003年に世界危機遺産に登録された。近年の都市化とモータリゼーションに伴うバレー内の商業化と環境悪化は歴史的建造物の保存に大きな負の影響といえる。現在までにネパール政府などにより、文化遺産保護の改善努力がなされており、2007年に世界危機遺産の登録は解除されている<sup>1)</sup>。このように、文化遺産保護の観点からの改善努力はなされているものの、地震災害からの歴史的建造物の保護は十分とはいえない。カトマンズバレーは、ヒマラヤ造山帯という地震多発地帯に位置していることから、何世紀にもわたり歴史的・文化的に貴重な建物への地震被害が繰り返し報告されている<sup>2)3)</sup>。ネパールのように観光産業が主要産業となっている地域において、地震により観光資源が被害を受けると、経済的にも大きなダメージを受ける。

このような背景に鑑み、日本政府はJICA を通じて様々な形で技術援助を行っており、2002 年にはほぼ確立された手法を利用してカトマンズの地震被害想定を行っている<sup>4)</sup>。この中で行われている建物被害推定は、これまで世界で起こった地震による各種建物に関する被害統計から導出された被害関数を利用したものであり、ネパールに特化したものではない。また、D'Ayalaらは、自らが提案した壁のスレンダーネスと、床と壁の接合状態等の変数から被害程度を分類するFaMIVEという手法で、パタン（論文中にはLalitpurと記載。Lalitpurが正式な都市名でパタンが旧名）の建物の被害関数を計算している<sup>5)</sup>。

一方、著者らのグループは、2008年から2012年にかけて行われた立命館大学グローバルCOEプログラム（研究課題名：歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点）の一環で、パタンのJatapol地区において、住宅として使われている91棟の歴史的建造物群を対象とし、悉皆調査に基づく建物分類と個別要素法を用いた数値計算により、地震リスクの評価を行った<sup>6)</sup>。現地試験によって得られたパラメータ<sup>7)</sup>を基に建物をモデル化し、ネパールの歴史地震を用いたハザード解析によって求めた地震動<sup>8)</sup>を入力した。解析モデルの作成にあたっては、建物の正面の壁の面外振動による破壊が主体的であるという既往研究<sup>9)</sup>に基づき、建物の正面の壁のみのモデル化を行った。

そして、研究プロジェクトが終了して3年が経過した2015年4月25日にゴルカ地震が発生した。著者らは、再びJatapol地区に赴き、地震前に悉皆調査を行った建物群の被災度を調査した。本論文では、現地調査で明らかになった被災状況を述べるとともに、被害を受けやすい建物の特徴について分析を行った。また、実際の被災度を、既往の被害関数（JICA<sup>4)</sup>、D'Ayala<sup>5)</sup>、著者ら<sup>6)</sup>）と比較した。また、数値解析でリスク評価を行う際の注意点を考察した。

## 2. 対象地区の概要とゴルカ地震前に実施した悉皆調査による建物分類

### (1) 対象地区

対象地区は、図1に示すパタンのJhatapol地区の一部である。対象地区には、図2に示すような歴史的組積造建物が数多く存在している。隣同士の建物が側方の壁（界壁）を共有した、連続した建物群である。

### (2) 地震前に実施した悉皆調査による建物分類

対象地区の91棟の建物について、地震前の2011年8月に悉皆調査を実施した。構造分類および階数による分類を図3に示す。構造分類としては、無補強組積造（unreinforced masonry）と鉄筋コンクリートによる枠組み組積造（confined masonry）の2種類が存在し、大部分の86%は無補強組積造であった。階数は1階建てと3～6階建てがある。1階建ては主にモニュメントや、空き屋などとなっており、住宅に使用されているものではない。最も多く存在していたのは5階建てで、次に多いのが4階建てであった。4階建てと5階建てで地区全体の93パーセントを占めている。3階建てや6階建ての建物はごく少数存在しているのみで、2階建ての建物は存在しない。また、現地の専門家や住民への聞き取り調査により、多くの建物で増築が施されており、4階建て以上のほぼ全てが増築により現在の階数となっていること、増築前の階数は3階建てのものが多くことがわかっている。

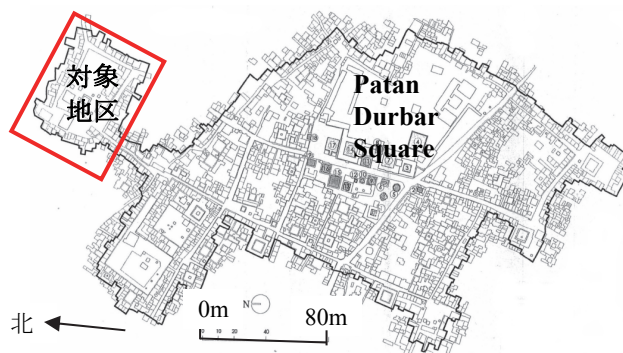


図1 パタン（□が対象地区）



図2 対象地区の連続した組積造建物群の例

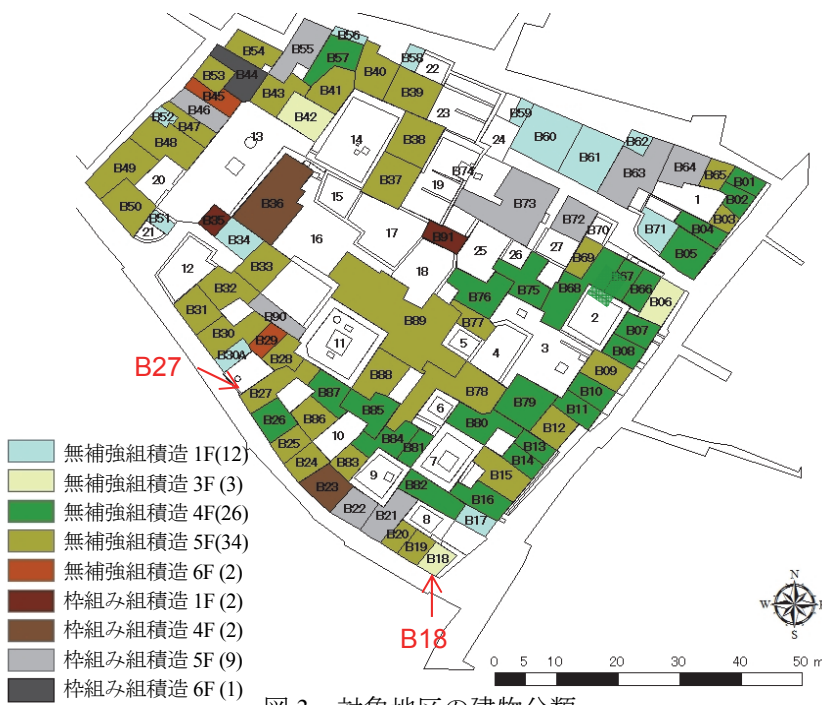


図3 対象地区の建物分類



図4 Jhatapol地区と強震観測点<sup>9)</sup>

### 3. ゴルカ地震の観測地震動と被災度分析

#### (1) 対象地区近傍の強震観測点および観測地震動

対象地区はゴルカ地震の震源から約78km離れている。対象地区と強震観測点の位置関係を図4に示す。

対象地区から約4.3km離れた地点にアメリカ地質調査所 (USGS) の強震観測点KATNPがあり、本震時のNS、EW、UD方向それぞれの最大地動加速度は162、155、184 galであった<sup>10)</sup>。また、高井らによる強震観測点のうち、対象地区に最も近い観測点はPTNであり、対象地区から約0.9km離れたトリブバン大学の敷地内に設置されている。本震時のNS、EW、UD方向それぞれの最大地動加速度は151、128、133galであった<sup>11)</sup>。

なお、Hariらが地震危険度解析によって推定した地震動の最大地動加速度は、50年発生確率40%、10%、5%のものがそれぞれ、84、420、630galであった<sup>8)</sup>。観測地震動のレベルは、50年発生確率が40%と10%の地震動の間に位置することがわかった。

#### (2) 地震後の被災状況分析

筆者らは、地震後の2016年11月に現地に赴き、対象地区の被害調査を行った。全部で91棟の建物について、地震前の悉皆調査時の写真と地震後の状況を比較した。ここでは例として、図3におけるB18とB27の建物について、地震前後の建物の外観の写真を比較する。

図5(a)は、建物B18の南西側の壁の1階の窓付近に焦点を当てている。撮影時にカメラを向けた向きを図3に矢印で示す。地震後の建物では、窓の木枠から斜め方向(赤線で囲った箇所)にひび割れが生じていることが確認できた。図3からわかるように、B18はコーナー部に位置し、隣と壁を共有しているのは北西側の壁1面だけであり、南西側と南東側と北東側の3面の壁は独立している。B18のように、コーナー部に位置する建物や、隣の建物と共有する壁の数が少ない建物にひび割れが多く確認できた。

次に図5(b)は、建物B27の地震前後の比較である。撮影時にカメラを向けた向きを図3に示すが、北西側の壁を撮影している。図5(b)の右端は、図3において矢印が指している西側のコーナー部である。B27は地震前から既に多数のひび割れが確認できたこともあり、地震後に新たに発生したと明瞭に判別できるひび割れを見つけることは出来なかった。しかし、この建物では木材によるサポートがなされている点が特徴的である。この木材のサポートによる物理的な補強の効果は定かではないが、住民が積極的に補強しなければならないと危機意識を持つだけの損傷が建物内部に生じた証拠であると考えられる。以上により、ひび割れの有無だけでなく、木材によるサポートの有無についても分析することとした。なお、B27もコーナー部に位置しており、北西側の壁と南西側の2面の壁が独立している。



以上のように、地震前の写真と比較しながら、全棟の被害の有無を判定した。判定結果を図 6 に示す。●は木材によるサポートが施されていた建物、●は外側からの目視により、地震前には見られなかったひび割れが確認できた建物、●は軽微なひび割れが確認できた建物（軽微なひび割れのため、地震前から存在していたかどうかを写真から判別することは困難）、●は新築の建物、もしくは建て替え途中の建物、●は既に解体されており存在していないことを表している。なお、建て替えは地震により被害が発生したことに起因しないことを住民への聞き取り調査により確認している。また、解体についても地震とは関係のないものであることを聞き取り調査により確認している。●と●の両方がプロットされている建物は、木材によるサポートが施されていた建物で、かつ外側から地震前には見られなかったひび割れが確認できた建物である。●は被災度を表すものではなく、枠組み組積造に分類される建物を示している。何も印のない建物は、外側からの目視では被害が確認できなかった無補強組積造である。

図 6 より、無補強組積造のなかでも、建物群のコーナー部に位置する建物が、木材によるサポート●や新たなひび割れ●の確認された建物である確率が高いことが見てとれる。図 2 に示すように、対象地区の建物群の多くは、両隣の建物と 2 面の側方の壁（界壁）を共有して連続して建っているため、面外振動が問題となる壁は、後面が建物に隣接している場合は前面の壁 1 面のみ、後面が中庭に面している場合は交差しない前面と後面の壁 2 面である。これに対して、コーナー部に位置する建物では、交差する 2 面以上の壁が、そ



(a)B18 (左：地震前、右：地震後)

(b)B27 (左：地震前、右：地震後)

図 5 地震前後の建物外観の比較

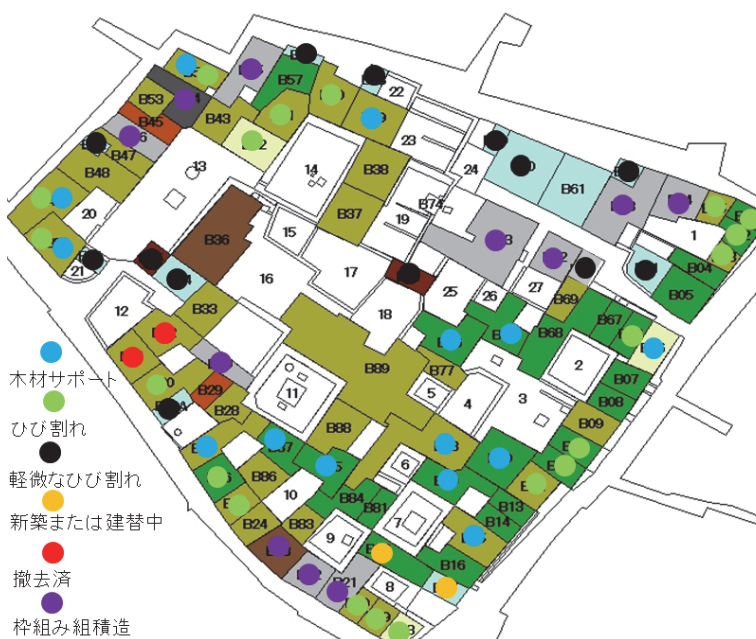


図 6 対象地区の建物群の被害状況

表 1 3階建て以上の建物の被害件数  
(括弧内は割合)

	木材サポートとひび割れの両方	木材サポート	ひび割れ	無被害	合計
無補強 3F	0	1 (0.33)	2 (0.67)	0	3
無補強 4F	0	6 (0.24)	7 (0.28)	12 (0.48)	25
無補強 5F	4 (0.125)	3 (0.09)	9 (0.28)	16 (0.5)	32
無補強 6F	0	0	0	2	2
枠組み 4F～6F	0	0	0	12	12

(合計からは、新築の建物、建替え途中の建物、既に解体されて存在しない建物を除く)

それぞれの面外方向へ振動を起こすため、両隣に建物がある建物に比べて被害を受けやすいのではないかと推察される。隣り合う建物間の界壁については、先に建てられた建物では前面と後面の壁が界壁と一体化しているが、後で建てられた建物では前面と後面の壁を付加しただけで界壁と一体化していない場合も多く、隣接建物のどちらが界壁を持っているかによって被害の程度が違ってくることも知られている。このことが、コーナ一部以外の建物の被害程度にばらつきがみられる理由の1つであると考えられる。

次に、無補強組積造の階数毎の被害件数、枠組み組積造の被害件数を表1にまとめる。無補強組積造について、棟数の多い4階建てと5階建ては、無被害は約半数であり、外側からの目視により地震前には見られなかったひび割れが確認できた建物の割合は約3割、木材によるサポートが施されていたのは4階建てが24%、5階建てが21.5%であることがわかった。階数と被害の間にほとんど相関が見られない結果となった。また、枠組み組積造に被害はないこと、被害を受けた建物はいずれも無補強組積造であることがわかる。

#### 4. ネパールの建物の被害関数との比較

##### (1) JICAによる被害関数と実際の被害率との比較

###### a) 被害関数の概要

2002年にJICAがカトマンズの建築物の被害想定を行った際に用いた被害関数を図7に示す<sup>4)</sup>。図7(a)は最大地動加速度と被害率の関係、図7(b)は最大地動加速度と倒壊率の関係である。ここでの被害率と倒壊率は、

$$\text{被害率} = \text{大破率} + \text{中破率}/2 \quad (1)$$

$$\text{倒壊率} = \text{大破率} \quad (2)$$

と大破率と中破率を用いて計算されている。「大破」は、屋根や壁が残存しているとしても、危険な状態のため修繕せずには住宅として不適当なほどの被害と定義されている。「中破」は、地震後も住居として永続使用するには修繕が必要であるが、一時的な避難のためには使用可能な程度の被害と定義されている<sup>4)</sup>。

###### b) 被害関数と実際の被害率の比較

対象地区の無補強組積造は、BM（泥目地使用のレンガ造）に分類される。対象地区に最も近い強震観測点PTNのNS成分の最大地動加速度151galに対応するBMの被害率と倒壊率を図7から読み取ると、被害率22%、倒壊率14%である。「大破」に相当する建物は存在しないので、実際の倒壊率は0%であり、被害関数から推定される倒壊率14%より小さい結果となった。「中破」に相当するものとして、木材によるサポートが施された建物を考えると、3～6階建ての無補強組積造62棟中14棟が該当することから、中破率は14/62=22.6%となる。式(1)より被害率は11.3%となることから、被害関数から推定される被害率22%より小さい結果となった。なお、木材サポートは専門家でなく住民の判断により導入されているので、木材サポートの有無は必ずしも「中破」を表す客観性のある指標ではない。しかし、サポートのない建物は、地震発生から1年半経過しても倒壊せずに建っていることから、サポートの施された建物の割合は中破率を過大評価することはあっても、過小評価にはなっていないと推察される。枠組み組積造は階数に応じてRC5またはRC3に分類されるが、表1より枠組み組積造は無被害であったため、図7の被害率、倒壊率よりも小さい結果となった。

以上のことから、対象地区においてJICAの被害関数は安全側の評価となっていることがわかった。

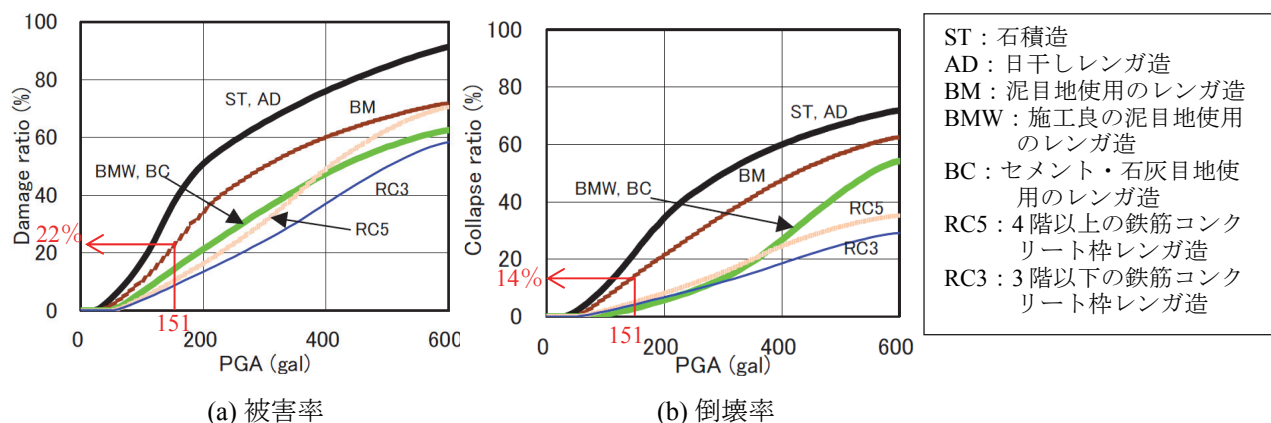


図7 JICAによる被害関数との比較（文献<sup>4)</sup>に加筆）



## (2) D' Ayalaらによる被害関数と実際の被害率との比較

### a) 被害関数の概要

D' Ayala らの研究<sup>5)</sup>では、過去の被害例を基にして、建物の前面の壁の破壊のみを想定してリスク評価を行っている。パタンを対象に推定された被害関数を図 8 に示す。横軸は最大震度、縦軸は Damage Grade の D0~D5 それぞれの発生確率である。Damage Grade の説明は表 2 の通りである。

### b) 被害関数と実際の被害率の比較

対象地区に最も近い強震観測点 PTN の NS 成分の最大地動加速度 151gal から、最大震度は  $151/980=0.154$  となる。図 8 より、最大震度 0.154 に対する D2 (moderate damage) の発生確率は 64%、D5 (destruction) の発生確率は 12% である。D2 の定義として、木材によるサポートが施された建物●のみを考えると実際の発生確率は 22.6% と 64% $\times$ 1/3 程度に過小評価となる。そこで D2 の範囲を広げて、木材によるサポートが施された建物●と外側から新たなひび割れが確認できた建物●の両方を考えると実際の発生確率は  $32/62=51.6\%$  となり、被害関数による 64% に近くなる。また、木材によるサポートが施された建物と新たなひび割れが確認できた建物の両方を D2 と仮定しても被害関数による発生確率の方が大きいことがわかる。D5 についても、実際の D5 の発生確率は 0% であるので、被害関数に比べて小さいことがわかる。

以上から、対象地区において D' Ayala らの被害関数は安全側の評価となっていることがわかった。

## (3) 数値計算によって求めた被害関数と実際の被害率との比較

### a) 被害関数の概要

著者らは、既往の研究<sup>6)</sup>で、個別要素法を用いた数値計算によって Damage Index を推定している。D' Ayala らの研究<sup>4)</sup>を受けて、前面の壁の破壊が支配的であると考え、解析対象を前面の壁とした。対象地区に存在する組積造のうち、3 階建て以上のもの（無補強組積造は 3~6 階建て、枠組み組積造は 4~6 階建て）についてモデル化を行った。例として、4 階建ての無補強組積造と枠組み組積造の解析モデルを図 9 に示す。解析モデルの詳細については既往文献<sup>6)</sup>に譲る。

建物の損傷度の判定には、Okada らの提案した指標である Damage Index<sup>12)</sup>を用いている（図 10、表 2）。これは Coburn が組積造の被害程度を Damage Grade としてまとめたもの<sup>13)</sup>を、Okada が分解能を上げるべく Damage Index の 0 (No damage) から 1.0 (Total Collapse) の指標を Damage Grade に重ねたものである。

既往研究では、3~6 階建ての無補強組積造と 4~6 階建ての枠組み組積造の代表的な解析モデルに対して、地震危険度解析によって推定した 50 年発生確率が 40、10、5% の 3 通りの地震動（それぞれの最大地動加速度は 84、420、630gal）を入力して、個別要素解析を実施した<sup>6)</sup>。解析によるひび割れ状況を図 10 および表 2 と照らし合わせて Damage Index の数値を決定した。その結果が図 11 である。ここでは、横軸に最大地動加速度、縦軸に Damage Index の数値をとったものを被害関数とする。3 通りの最大地動加速度に対して推定された Damage Index を直線で結んだものであるため、横軸に対する分解能が粗い。無補強組積造 4F のグラフが見えないのは、無補強組積造 3F と重なっているためである。

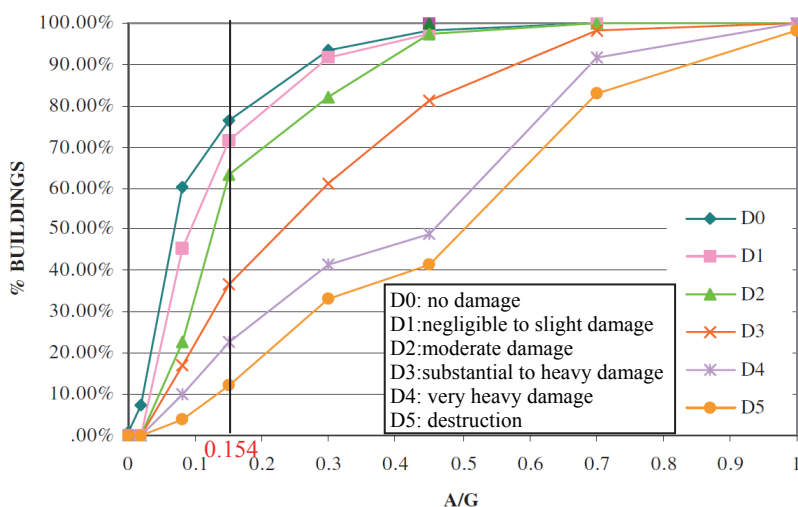
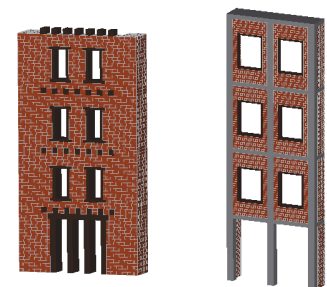


図 8 D' Ayala らによる被害関数（文献<sup>5)</sup>に加筆）



(a) 無補強組積造 (b) 枠組み組積造  
図 9 4 階建ての解析モデル例<sup>6)</sup>

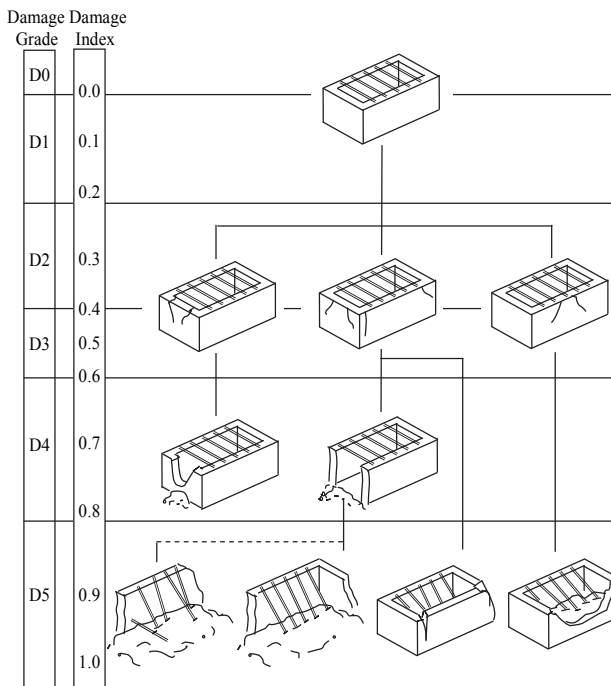


図 10 Damage Index (Okada and Takai<sup>12)</sup>, Cobum<sup>13)</sup>)

表 2 Damage Grade および Damage Index の説明 <sup>12)</sup>

Damage Grade	被災名称	被害状況	Damage Index
D0	No damage	被害なし	0
D1	Negligible to slight damage	壁面に毛髪亀裂。まれに漆喰壁の小片落下。	0.0-0.2
D2	Moderate damage	多くの壁に亀裂。漆喰壁の落下が目立つ。	0.2-0.4
D3	Substantial to heavy damage	ほとんどの壁に深くて大きな亀裂。構造要素の一部が破壊。	0.4-0.6
D4	Very heavy damage	壁面は重度の破壊。スラブの一部が破壊。構造要素はお互いの連続性を失う。	0.6-0.8
D5	Destruction	完全またはほとんど完全に破壊。	0.8-1.0

b) 被害関数と実際の被害率の比較

強震観測点 PTN の最大地動加速度 151gal に対応する Damage Index を読み取ると、無補強組積造 3F、4F、5F は 0.32、無補強組積造 6F は 0.36、枠組み組積造 4F は 0.0、枠組み組積造 5F は 0.026、枠組み組積造 6F は 0.04 となった。実際の被害は、枠組み組積造に関しては階数に関係なく Damage Index は 0 (被害無し) であり、被害関数と良い対応を示すことが確認できた。無補強組積造については、確認された最大の損傷である、木材によるサポートが施された建物と新たなひび割れが確認された建物の Damage Grade を D2 と見なすと、Damage Index にして 0.2~0.4 であり、被害関数から得られた Damage Index の範囲 0.32~0.36 に比較的近い値となった。しかし、実際には、無被害の無補強組積造も存在する。表 1 の無補強組積造の 62 棟中、無被害の 30 棟の Damage Index を 0、被害を受けた 32 棟の Damage Index を仮に 0.4 として Damage Index の平均値を求めると 0.21 となり、平均値は被害関数の 0.32~0.36 に比べ小さくなった。

現地で確認された最大の損傷に対する Damage Index が、被害関数と比較的近い値となった理由としては、対象地区の建物群を代表する解析モデルを直接解いていること、煉瓦やモルタル等の物性値として、現地試験を用いた値を用いているため、図 11 に示す被害関数が対象地区の建物群に特化した被害関数となっているためであると考えられる。しかし、解析では正面の壁の面外振動による破壊しか考慮に入れておらず、コーナー部に位置するような 2 面以上の壁が面外振動する効果は考慮できていないため、コーナー部の建物の影響を考慮する必要があると思われる。

最後に、本研究では建物を無補強組積造と枠組み組積造に 2 分したが、査読者より、実際には両者の混構造 (壁が組積造で屋上スラブのみ RC の混構造、壁が組積造で各階の梁および床スラブが RC の混構造) <sup>14)</sup> が一定数存在するはずとのご指摘を頂いた。混構造が存在するとすれば、RC 部材を目視できない場合は無補強組積造に、目視できた場合は枠組み組積造に分類している可能性があると思われる。無補強組積造の被害率が既往の被害関数よりも小さかった理由の 1 つに、混構造を無補強組積造に含めている可能性も考えられる。

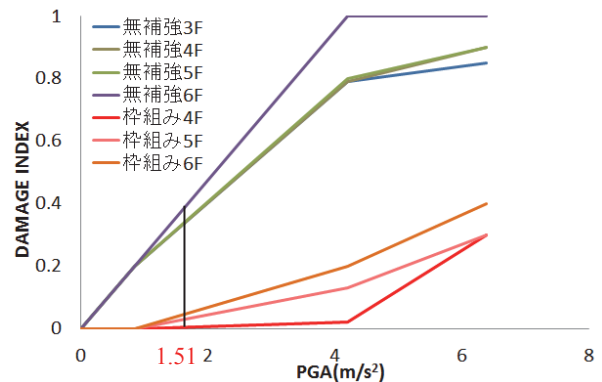


図 11 個別要素解析による被害関数

## 5. まとめ

本研究では、ネパール・パタンのJhatapol地区の一部を対象とし、歴史的組積造建物群1棟1棟のゴルカ地震後の状況を、地震前に撮影した写真と比較し、ゴルカ地震による被災度を分析した。その結果、枠組み組積造は無被害であること、被害を受けたのは無補強組積造であることが明らかとなった。また、両隣に建物がある建物よりも、コーナー部に位置する建物の方が、被害を受けやすい傾向にあることもわかった。両隣に建物がある場合は、両隣の建物と界壁を共有しており、このことが多少なりとも補強効果になっている可能性を示唆する結果が得られた。コーナー部に位置する建物は、隣の建物と共有する壁の数が少なく、2面以上の壁が独立して振動するため、被害が大きくなるものと考えられる。建物の階数の違いによる被害の違いは特に認められなかった。

また、対象地区の被災度を、既往研究で発表されたネパールの被害関数と比較した結果、JICAとD'Ayalaらと著者らの被害関数は安全側の評価となっていることがわかった。著者らの数値計算では、コーナー部に位置する建物の影響は考慮できていないので、両隣に建物がある建物と、コーナー部に位置する建物は分けて検討することが望ましいことがわかった。

**謝辞：**本研究は、ゴルカ地震前に実施しました立命館大学グローバルCOEプログラム（研究課題名：歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点）の研究成果をもとに、国連大学の地球規模課題解決に資する国際協力プログラム（研究課題名：参加型プラットフォームの活動による都市の災害レジリエンスの向上）の援助を得て、実施することができました。研究実施に際し、故谷口仁士先生からは、ご指導とご支援、そして温かい励ましのお言葉を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Rohit K.R.: Heritage homeowner's preservation handbook, UNESCO, 2007.
- 2) Bilham, R. and Ambraseys, N.: Apparent Himalayan slip deficit from the summation of seismic moments for Himalayan earthquakes 1500-2000. *Curr. Sci.* 88, 1658-1663, 2005.
- 3) Disaster Preparedness Network Nepal: Earthquake, <http://www.dpnet.org.np/index.php?pageName=earthquake> (2018.2.28閲覧)
- 4) JICA: ネパール国カトマンズ盆地地震防災対策計画調査最終報告書, 2002.
- 5) D'Ayala, D.: Correlation of fragility curves for vernacular building types: houses in Lalitpur, Nepal and in Istanbul, Turkey, *Proceedings of the 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No.485, 2004.
- 6) Research Center for Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage, Ritsumeikan University and Institute of Engineering, Tribhuvan University: Disaster Risk Management for the Historic City of Patan, Nepal. Final Report of the Kathmandu Research Project, 2012.
- 7) Parajuli, H.R., Kiyono, Maskey, P.M., Taniguchi, H.: Investigations of material properties on old brick masonry buildings of Kathmandu, *Disaster Mitigation of Cultural Heritage and Historic Cities*, Vol. 5, pp.163-170, July 2011.
- 8) Parajuli, H.R., Kiyono, J., Ono, Y., and Tsutsumiuchi, T.: Design earthquake ground motions from probabilistic response spectra: Case study of Nepal, *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.8, No.4, pp.16-28, 2008.
- 9) Google Maps: <https://www.google.co.jp/maps?hl=ja> (2018.2.28閲覧)
- 10) Combined Strong-Motion Data (CESMD): Earthquakes Recorded by Station KATNP, <http://www.strongmotioncenter.org/cgi-bin/CESMD/StaEvent.pl?stacode=NPKATNP> (2018.2.28閲覧)
- 11) Takai, N. Shigefuji, M., Rajaure, S., Bijukchhen, S., Ichiyonagi, M., Dhital, M. R. and Sasatani, T.: Strong ground motion in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha, Nepal earthquake. *Earth Planets Space*, Vol.68:10, 2016.
- 12) 岡田成幸, 高井伸雄: 地震時建物破壊に伴う死者発生記述モデルの構築フレームワーク(1) 建物分類と破壊パターンおよび建物単体の被害尺度関数, *東濃地震科学研究所報告*, No.2, 1999.
- 13) Coburn, A.W.: Seismic vulnerability and risk reduction strategies for housing in eastern Turkey. Ph. D. Thesis, The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, United Kingdom, 1987.
- 14) 宮内杏里, 山本直彦, 増井正哉, パント モハン, 向井洋一: 屋敷神の礼拝圏と職業姓の分布から見た都市型住居の平面類型とその発展過程—ネパール・バクタプルにおける生活空間と都市組織に関する研究その2, *日本建築学会計画系論文集*, 第82巻, 第741号, pp.2843-2853, 2017.