

2015年ネパール・グルカ地震被害調査速報（その1：被害の概要）

目黒 公郎（東京大学）

2015年4月25日午前11時56分に、ネパールの首都カトマンズ市の北西77kmの地下15kmと震源とするMw7.8（USGS）が発生した。死者はネパールの8,460人をはじめ、周辺国のインド78人、中国25人、バングラデシュ4人を合わせ、8,567人（5月15日現在）である。M8クラス、震源深さ15km、カトマンズ市に向かって断層破壊が進展したDirectivity、さらに建物の耐震性を考慮すると、カトマンズ盆地内の揺れは予想を大きく下回るものであった。脆弱な組積造でも崩壊せずに残っているものが多いこと、多くのビルの屋上に設置されていた水タンク（華奢な鉄のフレームの上に設置）の多くが被災していないこと、住宅内の棚に飾ってあった不安定な形状の置物や写真立てなどが全く移動や転倒していない事例などを見て驚いた。

建物被害は世界遺産建物をはじめとする古くて耐震性の低い組積造建物に限定される。被災地の組積造は、石（成形されたものと不規則な形状のもの）、日干しレンガ（アドベ）、焼成レンガ（焼成温度が低いものと高いもの）に分類でき、目地材としては（泥、泥＋石灰、貧配合セメント、セメント）モルタルである。これらの組み合わせによって耐震性の程度が決まるが、今回の被害は、低耐震の代表である不成形の石積み、アドベ、低温焼成レンガに、目地として泥や泥＋石灰、貧配合のセメントモルタルを用いた組積像がほとんどだ。鉄筋コンクリート（RC）建物で被害を受けているものは柱梁の接合部の強度が不十分な建物である。

道路被害はカトマンズ市の郊外の道路は斜面崩壊の影響で多くの被害を受けたが、市内の道路の被害としては法尻方向に少し滑った箇所や道路の中央部分で段差が生じた事例など限定的だ。同様に橋梁も多くは問題なく、橋桁のずれ防止装置（RC製）が桁の衝突によってせん断破壊しているものが少数見られただけである。

2015年ネパール・グルカ地震被害調査速報（その2：NSETと学校地震安全プログラム）

目黒 公郎（東京大学）

ネパールの地震防災対策の推進において中心的な役割を担っている組織がNSET（National Society for Earthquake Technology-Nepal）である。NSETは東京大学名誉教授の片山恒雄先生やスタンフォード大学名誉教授のHaresh C. Shah先生などが中心となって始められたWSSI（世界安全推進機構）の活動の成果として1994年に設立されたNGOである。WSSIは地震防災の後進国を対象に、防災対策の推進支援を目的に設立されたNGOであり、私も設立時から活動のお手伝いをしている。これまでに世界各国の人々を巻き込んだ活動を展開してきたが、ネパールはその中でもWSSIの活動がうまく展開できている国の1つである。私はNSETからの留学生を受け入れ、現地で適用可能な地震防災技術と社会制度に関する教育と訓練をして母国に送り返しているが、その中の1人がRamesh博士（現NSET副理事）である。

今回の地震災害を議論する上ではNSETの活動は欠かせない。NSETは、脆弱な構造物の耐震補強や耐震性の高い建物を建設するための技術者の教育と具体的な耐震補強活動、

国家地震安全記念日の制定と一連の防災行事の実施、一般市民や行政職員、政府高官向けの講演会、定期的な防災 TV 番組など、多くの活動を展開している。私自身も約 20 年前から様々な支援をしてきたが、特にここ 4, 5 年は毎年訪問し、各地で NSET の活動を直接支援してきた。その一つに School Earthquake Safety Program(SESP:学校地震安全プログラム)がある。SESP は脆弱な校舎の耐震補強と学校に通う児童や生徒を対象とした防災教育、さらに周辺地域の市民まで巻き込んだ防災啓発を目的とした活動である。Ramesh 君が中心となって進めてきた SESP によって、カトマンズ市内の小中学校の中の特に脆弱な建物の耐震補強が行われた。地震の前までにカトマンズ盆地内で約 200 棟の脆弱な小中学校の組積造校舎が耐震補強（工法は建物の耐震性に応じて、全面ジャケッティングや建物内外に鉛直と水平の RC バンドを設置する Splint and Bandage Method）された。カトマンズ盆地内だけで、約 300 棟（被災全体では約 6,000 棟）の校舎が修理不能なレベルの被害を受けた中で、SESP で耐震補強した校舎は 4 棟で軽微なクラックが見られただけで、すべてが地震後も利用可能で、多くは避難所として活用されている。

2015 年ネパール・グルカ地震被害調査速報（その 3 : PP-バンド耐震補強の実績）

目黒 公郎（東京大学）

ネパール・グルカ地震でその重要性が再確認されたのは、工学的な専門性を有していない現地の人々が、現地で入手できる材料を使って、勝手に建設する構造物(これをノンエンジニアード構造物と呼ぶ)の問題である。今回の震災でも被災建物の多くはこのノンエンジニアード建物であるし、死傷者の主たる原因もこの種の建物の被害である。

ところで日本であれば、多くの建物が被災する震災を経験すると、この被害の分析に基づいて耐震基準の見直しを行って(この見直しが既存建物に遡及適用されないことが問題視されるが)、建物の質の向上をはかる。しかし、多くの途上国では、脆弱な建物の耐震性の向上は耐震基準の改正では達成できない。理由は、これらの建物が耐震基準に従わずに建てられるからである。途上国の多くの地域では、存在している建物の耐震性と、その国に基準があるかないか（多くの国は基準を持っている）や、その良し悪しとは一切関係ない。

そこで私は、どこでも入手可能な材料を用いて、特別な技術のない人でも対応できる簡単で、非常に安い耐震補強法の開発とそれを普及する社会制度の研究を進めてきた。その耐震補強法の 1 つが PP-バンド耐震補強法である。この補強法は、通常荷造りに用いられるポリプロピレンのバンド(PP-バンド)をメッシュ状にして組積壁の内側と外側に設置し、両者を目地に所々あけた穴から紐などで連結し、最終的に壁のメッシュの上にセメントや泥などを塗り塗るものである。

今回の被災地には、2009 年に PP-バンド補強した 2 階建泥モルタルアドベ造の建物があった。電力もない地域であったので、溶接機を用いてメッシュの交点を溶着することができず、波状に編み込んだメッシュを用いて補強したが、この PP-バンド補強建物は、周囲の建物（泥モルタルアドベ造よりもはるかに耐震性の高いセメントモルタル焼成レンガ造）が被

災する中で、壁の一部に PP-バンドの効果があったことを示す軽微な剥離があっただけで、屋根瓦の落下や移動もなかった。この建物の補強に要する材料費は 50 米ドル程度であったが、PP-バンド工法による補強建物の高い耐震性が実地震で証明されたもので、大変うれしい出来事であった。

2015 年ネパール・グルカ地震被害調査速報（その 4：特徴的な地震動）

目黒 公郎（東京大学）

2015 年ネパール・グルカ地震被害調査速報（その 1）で、「カトマンズ盆地内の地震動が地震の規模や震源深さ、さらにディレクティビティを考慮すると、通常考えられる地震動の強さに対して大きく下回るものであった」旨の説明をしたが、実はカトマンズ盆地内の地震動は驚くべき地震動であった可能性が高い。

米国地質調査所(USGS)が震央距離約 60 km(断層の広がり を考慮すると断層の直上)の地点に設置していた地震計が記録した加速度地震記録を少し分析してみた。揺れの継続時間は 2 分以上、水平方向の最大加速度は NS、EW とともに 160 ガル前後、上限動は約 190 ガルでやはり通常よりもかなり値が小さい。しかし速度記録と変位記録が大きい。速度記録は最大速度が EW で 107 カイン、NS で 86 カイン、上下で約 60 カインである。同様に最大変位は EW で 117cm、NS で 140cm、上下で 59cm である。周波数特性としては、短周期成分として NS に 0.5s に (EW はない) ピークがある。また 3s 以上の長周期成分が多いことから、応答スペクトル解析 (減衰は 5%と 2%で) を行ってみた。

加速度応答スペクトルは NS 成分で、0.5s 付近の値が減衰 5%で 300 ガル (減衰 2%では 600 ガル) であり、やはり揺れは強くないことがわかる。しかし長周期成分の速度応答と変位応答スペクトルを見ると驚く。EW で減衰 2%のケースで、最大応答速度は周期 5s 付近で 500 カイン、4~6s の周期で 400 カイン以上 (5%減衰では周期 5s 付近で 400 カイン弱、4~6s の周期で 300 カイン以上) である。同様に NS では減衰 2%で、周期 5s 付近で 400 カイン、4~7s の周期で 300 カイン以上 (5%減衰では周期 5s 付近で 300 カイン強、5~6s の周期で 300 カイン以上) である。さら変位応答スペクトルでは、EW では減衰 2%のケースで、最大応答変位が周期 5s 付近で 400cm、4~7s の周期で 300cm 以上 (5%減衰では、周期 5s 付近で 300cm、4~10s の周期で 200cm 以上) である。同様に NS では減衰 2%で、5~7s の周期で 300cm 以上 (5%減衰では周期 5s 以上で 200cm 以上) である。

4s 以上の固有周期を有する施設が皆無であったカトマンズ盆地では、今回の地震動による問題は幸いにして発生しなかった。しかし、現在の日本の超高層ビルや長大橋、備蓄タンクなどを考えると、今回の地震動が我が国を襲った場合には、それなりの被害が出てしまうと考えられる。