

2015年ネパール地震

緊急被害調査団（先遣隊）報告

Quick Report of the April 25, 2015, Nepal Earthquake (Mw7.8)

清田 隆

正会員 東京大学 生産技術研究所 准教授

目黒 公郎

正会員 東京大学 生産技術研究所 教授

2015年4月25日にネパール中部を震源とする地震(Mw7.8)が発生し、多くの被害が発生した。土木

地震概要

学会・地震工学委員会(委員長・澤田純男京都大学教授)は、地震発生直後から関連情報の収集を行うとともに、地盤工学会、日本地震工学会と連

地震はネパール現地時間の午前11時56分に発生し、震源はカトマンズの北西約80km、震源深さは約15kmであった。地震多発地帯であるインドプレートとユーラシアプレートの境界部で発生した逆断層地震であり、震源域はインドプレートの沈み込み帯におおむね平行して長さ100~120km、幅50~80km、最大断層変位は4m以上と見積もられている。震源域西端部の震源から断層破壊は東~南東方向に拡大したことから、カトマンズとその北部領域を含む広いエリアで甚大な被害が発生した。また、本震から約30分後および翌日に発生し

た余震も、被害を拡大させた誘因と考えられる。なお、ネパール中部では1934年にもBurruruzi地震(M8+)が発生し、カトマンズでは大きな被害が生じたという記録がある。

地震動

カトマンズ市内で観測された本震および余震の貴重な地震観測波形がCESMD(Center for Engineering Strong Motion Data)のWEBサイトをを通じて公開されている。本震の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル(減衰定数5%)を図1(a)、(b)に示す。水平方向の最大加速度は160cm/s²程度とそれほど大きくない。加速度応答スペクトルでは水

平両方向とも周期5秒付近に大きな卓越が見られる。カトマンズは第四紀の湖成堆積物が厚く堆積する盆地構造上に立地していることから、長期地震動が生成した可能性がある。また、360Deg.方向(NS方向)の加速度応答スペクトルのみ0.5秒付近に大きな卓越が見られる。なぜ、水平一方向のみ短期周期領域の卓越が見られるかについては、今後の調査研究に期待したい。

道路の被害

カトマンズにおける代表的な道路被害は、カトマンズとバクタプルを結ぶAranko Highwayと呼ばれる幹線道路で発生した(写真1)。この道路

30日~5月9日までの期間で調査を行った。

ググループに分かれ、2015年4月

160cm/s²程度とそれほど大きくない。加速度応答スペクトルでは水

KIYOTA Takashi

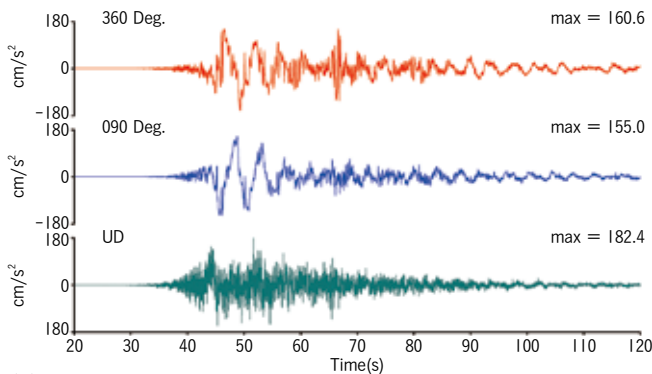
1994年豊田工業高等専門学校土木工学科卒業。コンサルタント会社(地盤調査)勤務、東京理科大学助教を経て、2010年より現職。技術士(建設部門)・博士(工学)。



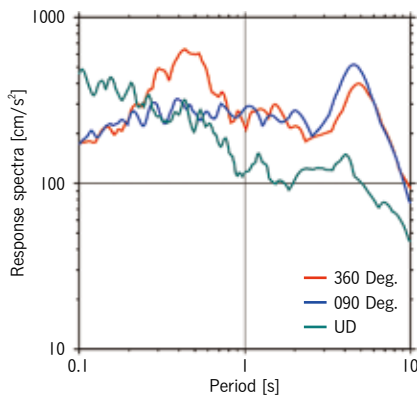
MEGURO Kimiro

1991年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。1991年東京大学生産技術研究所助手、助教授を経て2004年より現職。2007年より東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター長、2010年より東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター教授を兼任。工学博士。





(a) 加速度時刻歴



(b) 加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

図1 カトマンズ市内で観測された本震の地震動⁽²⁾

は JICA による建設であったことから、地元では Japan Road と呼ばれている。被害箇所は、トリブバン空港のすぐ東に位置し、小規模な谷をまたがる個所で発生した。谷埋め盛土の境界部分の路面には大きなクラックが生じており、1~1.5 m 程度の段差が生じていた。調査時点では、道路の段差部に盛土をして車両は通行できる状態になっていた。なお、このような大きな段差は幹線道路だけにどまらず、その周辺の住宅地にも及んでいた。調査を実施した範囲

では、それらの段差は連続性を有しており、谷埋め盛土かその基礎地盤の沈下、もしくはすべり破壊によるものと考えられる。変状が生じた土塊上に分布する家屋や中層構造物は、構造的な被害は少ないものの、地盤変状により大きく傾斜したものが多く確認された。影響範囲内の幹線道路は、通常盛土と補強盛土(テールアルメ)からなる。いずれの盛土も若干の変状が生じていたが、補強盛土の路面沈下量は通常盛土より小さく、補強土構造物

の耐震性の高さが確認された。また、カトマンズ市街地ではこのほかにも幹線道路の被害が確認されたが、そちらも低地を埋め立てた個所に相当し、地盤条件との関連性が被害に大きな影響を与えたと考えられる。

一方、本調査ではカトマンズ北部や震源地周辺の構造物被害が大きいエリアにも訪れたが、そこに至る道路には顕著な被害は認められなかった。発災直後には多くの斜面崩壊・落石が発生したが、調査実施時には土砂は除去されていた。山間部の道路は技術上・経済上の理由で、盛土に対して切土が圧倒的に多いことが理由として挙げられる。

橋梁の被害

橋梁の被害は全体としては軽微で、調査した11橋梁の中でなんらかの被害のあったものは4橋梁であった。その中で最も被害が大きかったのは、Sohavabati Bridge(写真2)で、橋桁の移動を防ぐRCのずれ止めが大

きな質量の橋桁の衝突によってせん断破壊していた。

ダム被害

カトマンズの北西約30 kmに位置する、トリスリダムと呼ばれる水力発電用のダムにおいて、貯水池の堤防盛土全体(総延長1150 m)に横方向の亀裂が生じた。堤体は1970年代に建設され、盛土材は貯水池の掘削土(シルト質砂が主体)である。地震発生時のダム水位は約1.5 m



写真1 Araniko Highwayの被害の様子

震源地周辺の被害

調査団はカトマンズとポカラを

であり、地震による崩壊は生じなかった。地震発生翌日には貯水池に流入する堰が閉じられ、当面の安定は保たれている。ネパールではこのような小規模な水力発電による地元への電力供給が一般的であるが、トリスリダムの発電は止まっており、周辺の村は停電状態である。

調査団はカトマンズとポカラを
崩壊した家を初めて見たのは震央から4・5 kmの位置であった。震央距

結ぶ幹線道路を西に向かい、Abu KhaireniというまちからDaraudi川に沿って北上し、震源地付近の斜面崩壊と家屋の被害を調査した。なお、カトマンズから少し西方に離れると、被害の程度は軽くなる傾向が見られた。また、震源に南からアプローチした本ルートでは、家屋の被害は震央距離18 km程度で顕著になり、完全に崩壊した家を初めて見たのは震央から4・5 kmの位置であった。震央距

源付近において確認された、本調査

離と被害の関係は、カトマンズやカトマンズ北部地域と比較して対照的であり、本地震の震源特性と良く対応している。本調査で確認された斜面崩壊のほとんどは、深さ2～3 m程度の表層崩壊であった。崩壊長10 m以上の中規模斜面崩壊については、震央距離15 kmで初めて確認され、震央に近くにつれて発生頻度も高くなる。震

なお、写真3には建設中の橋が示され

における最大規模の斜面崩壊を写真3に示す。幅約300 mにわたり、巨石と土砂が道路を完全にふさいでおり、撤去には相当の時間がかかると思われる。なお、この崩壊により7名が犠牲となった。崩壊斜面には不安定な土塊がかなり残っており、また崩壊斜面の上部に広がる畑には亀裂が多数生じていることから、今後の余震や降雨による二次災害が懸念される。



橋桁のずれ止めのせん断破壊 (左上：北側取付部、右上：南側取付部、右下：橋脚上の取付部)

写真2 Sobhavagbati Bridgeの被害



写真3 震源地付近で発生した斜面崩壊 (N28°10'13.57"、E84°42'18.23")



石積み組積造（泥モルタル）建物の被害



アドベ組積造（泥モルタル）の被害



非補強焼成レンガ組積造建物の被害
(床を支える木製の柱、壁は組積壁。隣のRC構造は、細い柱梁でも被害を免れた)



RC構造の被害
(柱梁の接合部分が弱いため、RC柱もRC梁も強度を十分に発揮する前に崩壊している)

写真4 典型的な建物被害の例

ているが、この橋に有意な被害は認められなかった。

建物の被害

組積造建物の被害

建物被害は地震動の特徴（一般建



電気と溶接機がないので、PP-バンドの交点は溶着していない。上下（波状）に編み込んだだけ。



PP-バンド補強2階建てアドベ（泥モルタル）組積造（2009年） 地震後の様子（2015年、周辺の焼成レンガ組積造が被害を受けている中で）

写真5 PP-バンド補強で生き残ったアドベ造建物

物に影響の大きな周波数帯域の揺れは強くなかった）から限定的で、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がほとんどである（写真4）。被災地の組積造は、石日干しれんが（アドベ）、焼成れんが（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高低が決まる。鉄筋コンクリート（RC）建物では、柱梁の接合部の強度が不十分な建物が限定的に被害を受けている。

学校安全プロジェクト

1999年から地震の前までに、NSEI (National Society for Earthquake Technology-Nepal) が主体となつて、カトマンズ盆地内の約200棟の脆弱な小中学校の組積造校舎の耐震補強（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Spint and Bantage Method)を進めていた。補強前の構造の多くは、焼成れんがと泥モルタル、焼成れんがと貧配合のセメントモルタルの非補強組積造である。今回の地震でカトマンズ盆地内では約300棟（被災全体では約600棟）が修理不能なレベルの被害を受けた中で、耐震補強済み校舎は4棟で軽微なクラックが見られただけで、避難所として活用されている。

PP-バンド補強建物

被災地には2009年にPP-バンド補強法（途上国の脆弱な組積造建物の補強用に開発された安価で簡便で効果の高い工法）で耐震補強した2階建てアドベ泥モルタル造建物（写真5）があった。この建物は周囲の建物（セメントモルタルの焼成れんが造）が被災する中で壁の一部にPP-バンドの効果があつただけで、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証明された。

本報告は4月25日に発生した本震後の緊急調査結果をまとめたものであるが、特に山岳地の被害の全貌は明らかになっていない。また、依然として余震活動は続いており、本調査後に発生した余震（5月12日、Mw7.3）により被害はさらに拡大している。本報告が今後の調査および詳細検討の参考になれば幸いである。なお、清田グループの調査ルートとキャプション写真（kmzファイル）、および被害調査報告書は清田研究室のWEBサイト⁽³⁾から入手可能である。最後になりますが、本地震で亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げますとともに、被災された皆さまには心よりお見舞い申し上げます。

謝辞

CESMDの観測記録を使用させていただきま

参考文献

- (1) USGS, Earthquake Hazard Program, M7.8 - 34km ESE of Lamjung, Nepal, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20002926>
- (2) CESMD, <http://strongmotioncenter.org/>
- (3) 東京大学生産技術研究所清田研究室: <http://www.gdmis.u-tokyo.ac.jp/>