

2015年ネパール・ゴルカ地震による 道路における地盤災害調査報告

清田 隆¹・池田 隆明²・合田 且一朗³
Rama Mohan POKHREL⁴・Gabriele CHIARO⁵・片桐 俊彦⁶

¹正会員 東京大学生産技術研究所 准教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
E-mail:kiyota@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 室長

³Senior Lecturer, University of Bristol, United Kingdom

⁴正会員 東京大学生産技術研究所 研究員

⁵Member of JSCE, Lecturer, University of Canterbury, New Zealand.

⁶正会員 東京大学生産技術研究所 技術職員

2015年4月25日に発生したカトマンズ北西部を震源としたゴルカ地震(Mw7.8)は、ネパール中部地域に大きな被害を与えた。地震動の大きかった地域では、適切な補強がなされていなかった組積造の建物が多く倒壊し、多くの犠牲者が生じた。また、地盤に関しても多くの被害が生じ、道路の被害や寸断などが生じた。本報告では、地震発生から約1週間後に実施された現場被害調査を基に、同地震における道路の地盤災害の様子をまとめた。カトマンズでは幹線道路の盛土の沈下、カトマンズ北部の山地や震源地周辺では、道路沿いに落石・斜面崩壊が多く発生し、震災後の交通に影響を与えていた。カトマンズの幹線道路では2015年7月にも調査を実施し、道路被害の分布は微動観測による地盤振動特性と良く整合することが判った。また、震源に近づくほど斜面崩壊の数と規模が大きくなる傾向が確認された。

Key Words : ネパール・ゴルカ地震, 地震被害調査, 道路被害

1. はじめに

2015年4月25日、カトマンズから北西へ約75km、深さ15kmを震源としたネパール・ゴルカ地震(Mw7.8)が発生した。この地震、および30分後と翌日に発生した余震(それぞれMw6.6, Mw6.7)により、カトマンズ周辺およびカトマンズの北部領域の広いエリアで甚大な被害が発生した¹⁾。

地震発生後、土木学会地震工学委員会では、地震被害調査団(先遣隊)を地盤工学会、地震工学会と共に組織・派遣した。本報告は、地震発生から約1週間後の5月1日~6日に実施された上記調査団による地盤災害調査、および7月15日に行われた著者らによる二次調査のうち、主に道路被害について取りまとめたものである。

同地震による犠牲者の多くは、適切な補強がなされていない組積構造物の倒壊によるものであった。一方、道路では盛土などの土構造物に大きな被害が生じており、特に山岳道路の崩壊は被災地へのアクセスを不便にしている²⁾。

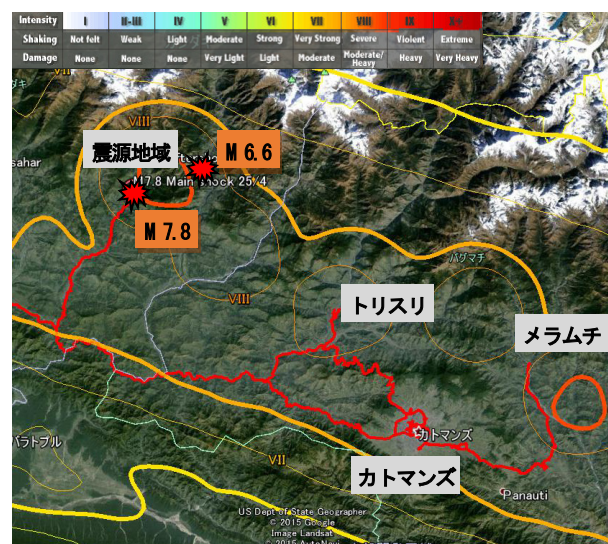


図1 調査ルートと震度 (MMI)

図1に著者らが2015年5月に実施した調査のルートと震央位置を、USGSによるMMIスケールのコンター図³⁾に重ねたものを示す。ゴルカ地震の本震は震源地の西方に

位置し、断層破壊が東～南東方向に発達したことが、図1からも把握できる。また、本調査は大きな揺れが生じた地域で行われたことが判る。

ゴルカ地震の概要については既往文献²⁾に譲るものとし、以下、調査対象地域ごと（カトマンズ市内、震源付近を含む山間部）に、道路被害の様子を概説する。

なお、著者らが調査中に撮影した写真は、オープンアクセス論文³⁾の資料（kmzファイル）として、以下のアドレスからダウンロード可能である。

<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fbuil.2015.00008/abstract>

2. カトマンズの道路被害

本調査で確認されたカトマンズ市内の道路被害は、2か所であったが、いずれも盛土部で発生した。特にトリブバン空港の南東2kmに位置するでAraniko Highwayの被害は顕著であった。ここでは、地震から1週間後の時点で確認されたAraniko Highwayおよびその周辺の被害の様子と、2015年7月に同地域で実施された微動計測結果を概説する。

(1) Araniko Highwayの被害の様子

この道路はカトマンズとパクタブルを結ぶ片側2車線の重要な幹線道路で、JICA が建設に携わったことから地元では Japan road と呼ばれている。道路被害の様子を図2および写真1に示す。なお、図2には後述の微動計測地点も示す。

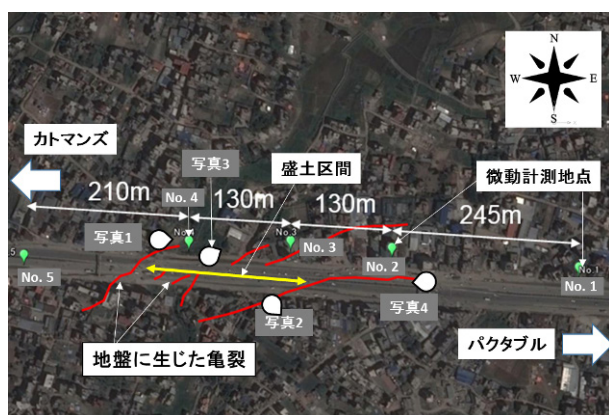


図2 Araniko Highwayとその周辺に生じた地盤亀裂

道路被害は、小規模な谷埋め盛土部を含む区間、約450mの範囲で発生した。盛土の境界と思われる位置の車道、歩道には大きなクラックが生じており、1~1.5m程度の段差が生じていた。特にカトマンズ側の道路では車道の沈下が激しく、これにより道路脇に設置された小屋が数m移動した。調査時点では、段差部には簡易的な盛土により応急処置がなされ、車の交通は徐行速度で可

能となっていた。

沈下が生じた盛土箇所は、高さ 2~3m 程度の通常盛土と補強盛土擁壁からなる。通常盛土は北側は1割勾配の法面、南側は重力式擁壁（もたれ擁壁）であった。補強土擁壁はテールアルメであった。補強盛土では、多少のハラミ出し、傾斜、および 10cm 程度の局所的な沈下が生じていた。一方、通常盛土部分でも若干の変状が法面や擁壁に認められたが、補強土擁壁区間よりも大きな車道の沈下が確認された。地震時における通常盛土に対する補強土擁壁の優位性については多くの報告があるが、本地震でも補強土構造物の耐震性の高さが確認された。

なお、当該地区では、大きな沈下や亀裂は道路部分だけでなく、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、写真2の箇所では 1.2m 程度の大きな段差が生じていた。このため、道路盛土で生じた沈下は、小規模な谷に堆積する軟弱な基礎地盤の沈下もしくはすべり破壊によるものと推察される。写真3に、図1に示した地表面の亀裂から谷側の、沈下もしくはすべりの影響範囲にある建物の被害の様子を示す。この建物を含むいくつかの中層構造物は、構造的な被害は少ないものの、支持力破壊のような形態で大きく傾斜したものが確認された。



写真1 Araniko Highwayの道路盛土の変状（奥：通常盛土，手前：補強盛土）



写真2 Araniko Highway周辺の住宅地で確認された地盤の段差



写真3 Araniko Highway 周辺の傾斜した中層構造物

上記の被害箇所から東へ 100m の箇所にあるバス停周辺でも被害が確認された。写真4はカトマンズからパクタブルに向かう東向き車線（下り車線）のバス停の拡幅部分が沈下したものである。調査時には沈下箇所の舗装・路盤が取り払われていたため正確な沈下量は不明であるが、おそらく 20~50cm 程度であると思われる。被害は道路の拡幅部分にあり、本車線部の変状は認められなかったため、拡幅部の路盤が軟弱であった可能性がある。当該地盤は、若干北（バス停側）へ傾斜しており、沈下した個所ではバス停側への地盤変位も確認された。その地盤変位に伴い、近くの歩道橋の基礎も移動し、桁と階段のつなぎ目が約 45cm 開いた。

参考までに、Araniko Highway で確認された地盤変状は、JAXA⁴⁾による地震前後のデータを用いた干渉画像にも表れていた。地震被害程度の早期把握に衛星データが有効であることを示した好例であると言えよう。



写真4 Araniko Highway のバス停付近の被害の様子

(2) 微動計測結果

前述のように道路盛土の被害は基礎地盤の影響を受けていることが推察されたため、被害区間の前後の無被害区間を含めた5地点で微動計測を行った。計測地点を図

2に、計測地点の諸元および周辺道路の被害状況との関係を表1に示す。No.1地点は谷部であるが傾斜が緩いため道路は原地盤にすりつけるように建設されている。No.2~No.4地点は丘部から谷部にかけての盛土区間である。No.2、No.3地点の盛土高は1m以内であるが、No.4地点は5m以上と高い。No.5地点は切土部に相当する。No.1~No.4地点は側道、No.5地点は路側帯で微動を計測した。

表1 微動計測地点の諸元と道路盛土の被害状況

地点	計測地点	道路の状況	被害の有無
No.1	側道	原地盤	無被害
No.2	側道	盛土	被害
No.3	側道	盛土	被害
No.4	側道	盛土	被害
No.5	道路	切土	無被害

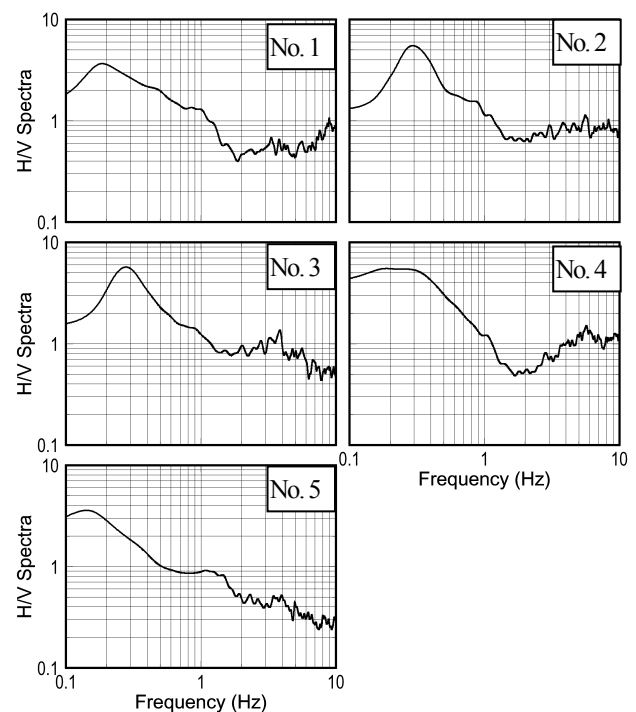


図3 微動の H/V スペクトル比 (0.2Hz の Parzen ウィンドウで平滑化)

図3に各計測地点の微動のH/Vスペクトルを示す。H/Vスペクトルはバンド幅0.2HzのParzenウィンドウで平滑化している。周辺の道路盛土に被害が見られたNo.3、No.4地点のH/Vスペクトルには4Hz~6Hzにかけてピークが見られる。それに対し、無被害地点ではそれよりも高い振動数にピークが見られることから、被害地点の方が無被害地点に比べて表層地盤の平均S波速度が低いと考えられ、その差が道路盛土の被害に影響を与えた可能性がある。一方、被害地点のピーク振動数から推定すると、表層地盤のS波速度は比較的高いと考えられる。微動計測は側道で行ったため、道路建設時に締め固められてい

た可能性があることから、側道よりも外側の原地盤と考えられる地点を対象とした微動計測等による基礎地盤の評価が必要である。

4. 山間部の道路被害

山間部の調査は、カトマンズ盆地の北部（北西・北東方面）、および震源地付近において実施された。ここでは、上記地域の道路被害を概説する。

(1) カトマンズ北部

本地震の震源はカトマンズの北西 80 km 程度であり、断層破壊は東～南東方向に拡大したことから、カトマンズ北部の山地では強い揺れにより多くの被害が生じた。

図 1 に示すように、本調査ではカトマンズから北西部のトリスリ、北東部のメラムチに向かい、その行程で確認された被害の調査を実施した。全体的な傾向として、北へ向かうほど、建物や斜面崩壊の頻度も高くなる。

しかし、斜面崩壊の数は構造物被害と比較して少なく、確認された斜面崩壊のほとんどは表層崩壊（写真 5）の形態を呈していた。崩壊の規模も比較的小さなものが多く、調査時点ではカトマンズからトリスリおよびメラムチに至るまでの道路沿いに生じた崩壊土砂は既に撤去されていた。山間部道路のほとんどは盛土に比較して安定性の高い切土により構築されていることが挙げられる。この傾向は我が国の地震による道路被害でも確認されている。例えば 2004 年中越地震や 2008 年岩手・宮城内陸地震では山間部の道路の直線化のために施工された盛土道路の大規模な崩壊が多数生じたが、斜面に沿って残されている旧道の被害は比較的少なかった（例えば、国土交通省, 2006）⁹⁾。

なお、落石によるバスの被害も確認された。写真 6 の被害により 4 名の犠牲者が生じた。



写真 5 メラムチで確認された斜面の表層崩壊



写真 6 落石を受けたバスの様子

(2) 震源地周辺部

カトマンズとポカラを結ぶハイウェイにある街、Abu Khaireni から Daraudi 川に沿って北上し、震源地付近の斜面崩壊を調査した。この道路の大部分は未舗装道路であったが、深刻な被害が生じた中規模市街地（バルパック）とポカラハイウェイを結ぶ重要なルートでもある。

図 5 に震源地付近の調査ルートと Daraudi 川両岸で確認された斜面崩壊の位置を示す。カウントした地すべりは本地震によると思われるフレッシュなもの。サイズは目視ですべりの長さが 10m 以上のものを抽出した。震源に向かって南からアプローチした本ルートでは、震源に近づくにつれて発生頻度も高くなったが、上記基準による中規模の斜面崩壊は、震源から 15km 程度の地点まで確認されなかった。震源距離と斜面崩壊の関係は、カトマンズ北東部・北西部と比較して対照的であったが、これは本地震の断層破壊が震源から東に伝搬していったことと良く対応している。また、確認された斜面崩壊のほとんどは、表層崩壊であった。

震源から南西約 5km 地点で発生した大規模な表層崩壊を写真 7 に示す。崩壊長さは約 100~110m 程度、幅は 50~60m で崩壊深さは 2~3m 程度であった。写真 8 も表層崩壊であり、震源から西南西約 2km 地点で発生した。崩壊は斜面頂部で発生し、その長さは約 30m 程度であった。崩壊した土砂はそのまま斜面を流下し、道路を完全にブロックしていた。また、斜面には多くの湧水が確認された。幸いにも、著者らは崩壊土砂を避けて震源に向かうことができた。

本調査で最も大きな斜面崩壊は、震源から北約 2.5km で確認された。崩壊の規模は、幅約 300m、長さ 100~110m であり、死者 7 名が報告されている（写真 9）。幅広い崩壊斜面では少なくとも二通りの崩壊パターンが見られ、写真 9 の奥では表層崩壊、中央部から手前にかけては岩盤崩落の形態を呈していた。崩壊地下部にあった道路は、巨石を含む崩壊土砂により完全にふさがれ、車両による通行は調査団が到達した時点では不可

能であった。また、崩壊斜面の上部にある緑地はコーン畑であるが、住民より崩壊に並行した亀裂が地盤に多数生じているとのことであった。なお、写真9にはコンクリート橋（建設中）が示されているが、この橋に有意な被害は認められなかった。

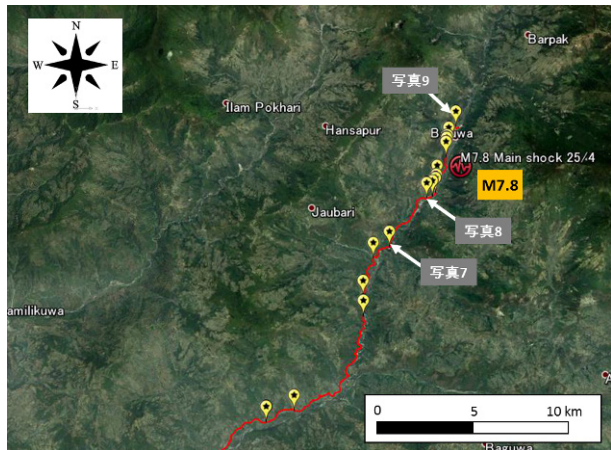


図5 震源地周辺の調査ルートと長さ 10m 以上の斜面崩壊箇所



写真7 大規模な表層崩壊（震源の南西約5km）



写真8 大規模な表層崩壊（震源の西南西約2km）



写真9 大規模な斜面崩壊（震源の北約2.5km）

4. まとめ

本報告は、ネパール・ゴルカ地震（Mw7.8）発生から約1週間後の調査により確認された地盤災害についてまとめたものである。カトマンズでは、沢を跨ぐ幹線道路の段差や沖積地盤上の構造物被害の集中、および小規模の液状化の発生など、軟弱地盤に起因する被害が確認された。カトマンズ北部では斜面災害のほか、貯水池の堤防に被害が生じた。また、震源地付近では、震源に近づくにつれて斜面崩壊の数と規模が拡大する傾向が確認された。

今回報告できなかったものとして、北部山岳地の被害や、本調査後に発生した余震（5月12日、Mw7.3）による被害が挙げられる。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。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。

謝辞：調査の一部は、JSPS科研費15H02631の助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) Goda, K., Kiyota, T., Pokhrel, R.M., Chiaro, G., Katagiri, T., Sharna, K. and Wilkinson, S., “The 2015 Gorkha Nepal Earthquake: insights from earthquake damage survey”, *Frontiers Built Env.*, 1 (8), pp. 1-15, 2015.
- 2) Chiaro, G., Kiyota, T., Pokhrel, R.M., Goda, K., Katagiri, T. and Sharma, K., “Reconnaissance report on geotechnical and structure damage caused by the 2015 Gorkha Earthquake”, Nepal, *Soils and Foundations*, 2015. (採択決定)
- 3) USGS, “M7.8 - 36km E of Khudi, Nepal”, URL (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20002926#general_summary), 2015.

- 4) 宇宙航空研究開発機構（JAXA）地球観測研究センター, “「だいち 2 号」によるネパール地震の観測結果について”, URL (http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jdis_pal2_npl-eq_20150502.htm), 2015.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所, “平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震土木施設災害調査報告”, 2006.
- (2015.9.4 受付)

SURVEY REPORT ON ROAD DAMAGE CAUSED BY THE 2015 GORKHA EARTHQUAKE, NEPAL

Takashi KIYOTA, Takaaki IKEDA, Katsuichiro GODA, Rama Mohan POKHREL,
Gabriele CHIARO and Toshihiko KATAGIRI

This report summarizes road damage related to geotechnical problems caused by the 2015 Gorkha Earthquake, which were observed during a field survey conducted by a survey team dispatched by the Japan Society of Civil Engineers (JSCE) and Japan Geotechnical Society (JGS). In Kathmandu City, an embankment of the Araniko Highway, which connects Kathmandu to Bhaktapur, suffered from damage due to subsidence. Ground fissures, tilting of buildings and road pavement damage were also observed in the surrounding area. On the other hand, reinforced retaining walls demonstrated good performance against the earthquake. In mountainous areas, traces of medium scale landslides and rockfalls along roads were frequently observed. A large number of steep slopes failed at shallow depth in the epicentral area, and their scale in terms of quantity and size tends to increase as approaching the epicenter.