

2015 年ネパール・ゴルカ地震による地盤亀裂の発生原因に関する考察と対策工の提案

東京大学 生産技術研究所 学生会員 ○志賀 正崇 清田 隆
 国際斜面災害研究機構 フェロー会員 小長井 一男
 長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明

1. 概要

ユーラシア大陸南部に位置し、ヒマラヤ山脈を擁するネパールでは、数十年周期で Mw7 程度のプレート境界型巨大地震が発生している。2015 年 4 月 25 日に発生したゴルカ(Gorkha)地震では、首都カトマンズ(Kathmandu)において液状化や地盤亀裂が発生し、住宅や社会基盤施設に被害をもたらした。本研究ではこの内、カウサルター(Kausalter)近郊で発生した幹線道路の谷埋め盛土とその周辺地盤で発生した亀裂を対象として、発生原因に関する考察と対策工の提案を行った。

2. 調査対象地の概要

亀裂が発生したカトマンズ盆地は標高 1300m 付近に位置し、旧カトマンズ湖の厚い河成・湖成堆積層から成る。このカトマンズ盆地の北北西 67km を震源として 2015 年 4 月 25 日に Mw7.8 のゴルカ地震が発生した(図 1)。OCHA(国連人道問題調整事務所)によると、この地震とその後の余震による死者は 8891 人(2015 年 9 月 30 日時点)と報告されている¹⁾。この地震によって、歴史的建造物が密集するカトマンズ・ダルバール(Darbar)広場周辺にて、低中層の組積造構造物が倒壊した他、中部のカウサルターにおいて、幹線道路の盛土と周辺の住宅地に亀裂が発生した。

亀裂が発生した地点は、住宅地である丘の間を、南西から北東方向に深さ 10m 程度の浅い谷が横切る地形となっている。この谷を埋める形で、東西方向にカトマンズと中国を結ぶ 4 車線道路 Araniko Highway の盛土が建設されている。地震時にはこの盛土と周辺の住宅地において、最長 400m の亀裂が地面に出現した。地震後の土木学会による地震被害調査によると、この亀裂は南東部において最大 2m の段差を生じさせ(図 2)、全体として谷側に落ち込むような動きが見られた。また谷中央部では両側から押された盛土が持ち上がる変形が観測された²⁾。

本研究では表面波探査、ボーリング調査、標準貫入試験、炭素年代測定を用いて、この亀裂の原因土層の把握と、井戸の揚水による地下水位低下の効果検証を行った。

3. 調査結果と考察

調査対象地直下の地盤構造を推定する目的で行った表面波探査では、ハイウェーに並行および直行方向の測線(図 3 左)のそれぞれに、せん断波速度の低い 2 つの領域が異なる深さに存在していることが判明した。具体的には①測線全体の地下 2~4m と②亀裂発生箇所の地下 5~8m 付近である(図 3 右上)。これらの力学特性の検証を目的に、調査対象地の 5 カ所においてボーリングによるコアサンプル採取、並びに標準貫入試験を行った。結果として上記の深さに存在する層はそれぞれ①有機質粘土、②低塑性シルトであった(図 3 右下)。

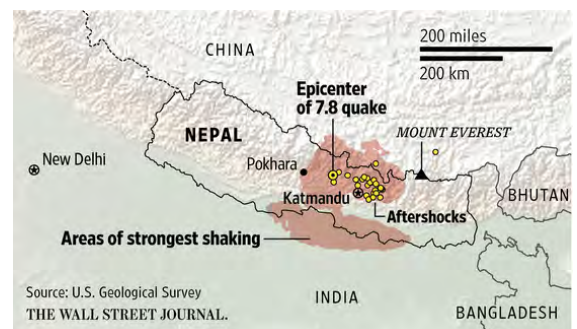


図 1 ネパール周辺図と震源(Wall Street Journal)



図 2 発生した亀裂に伴う 2m の段差

キーワード ネパール, カトマンズ, ゴルカ地震, 亀裂, 発生機構

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Be206 東京大学 生産技術研究所 清田研究室 TEL03-5452-6498

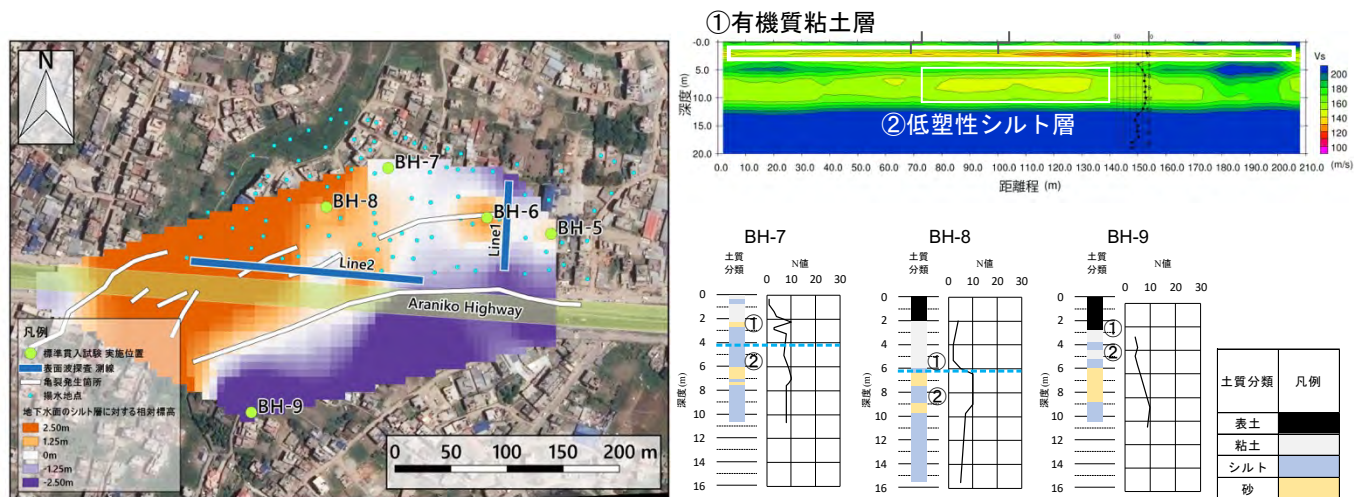


図3 調査地全景と地盤調査実施地点(左), Line2の表面波探査解析結果(右上), BH-7~9の土質分類とN値分布(右下)

5か所のボーリング調査で確認された有機質粘土, 低塑性シルト, そして地下水面の平面分布を逆距離荷重法を用いて求めた. この結果, 飽和した低塑性シルト層の分布域と亀裂の分布域が概ね一致していることが確認され(図3左), 低塑性シルト層の液状化が亀裂の原因となった可能性が高いことが示された. また炭素年代測定より, 有機質粘土層の形成年代は紀元前9000年~13000年頃と推定された. Sakaiらの研究結果³⁾も踏まえると, 低塑性シルト層は紀元前32000~35000年頃の後期更新世に堆積したものと推定される. さらに対策工として, 井戸を用いた揚水効果の検証を行った. これはカトマンズ盆地では生活水の供給源として汲み上げ式の井戸が多く設置されている現状を活用するものである. ハイウェイ北側の亀裂発生地域に84箇所の井戸の設け, それぞれの初期水深を1m下げる分だけの流量を汲み上げた際の, 地下水面の変化量をCooper=Jacob式を用いて推定した. その結果, 飽和した低塑性シルト層の範囲は揚水前の19%にまで減少し, 低塑性シルト層の液状化強度の上昇が期待されることが分かった(図4).

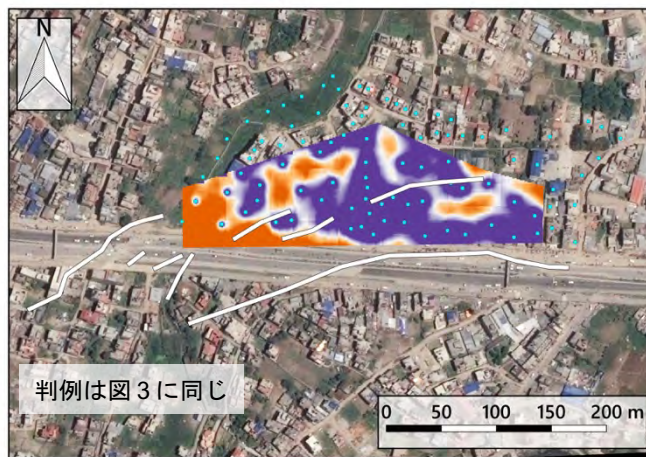


図4 揚水後の地下水面のシルト層に対する相対標高

4. 結論

2015年ゴルカ地震によってカトマンズ盆地で発生した亀裂は, 地下水面下に存在する後期更新世に堆積した低塑性シルト層の軟弱化に起因すると考えられる. また対策工として井戸を用いた揚水を行うことで, 地下水面下に低塑性シルト層が存在する領域を19%にまで減らせることが期待される.

謝辞

本研究は科学研究費基盤研究(A)「地震後に変形が加速する伏在不安定斜面の抽出と崩壊時リスク評価」(代表: 小長井一男)の一環として行われた. またJICA社会基盤・平和構築部の中村明博士, 日本工営道路橋梁部の西尾俊彦様には当該地域における貴重な地盤調査の資料をご提供いただきました. 炭素年代測定に当たっては, 東京大学総合博物館年代測定室にご指導いただきました. ここに感謝の意を表します.

参考文献

- 1) OCHA: Humanitarian Bulletin Nepal Earthquake Issue 04 (Final Issue) | 1 – 30 September 2015, OCHA, pp.1-5, 2015.
- 2) Konagai, K., et al.: Geotechnical aspect of the damage caused by the April 25th, 2015 Gorkha earthquake of Nepal, JSCE Journal of Disaster FactSheets, 2015.
- 3) Sakai H., et al.: Two times lowering of lake water at around 48 and 38ka, caused by possible earthquakes, recorded in the Paleo Kathmandu lake, central Nepal Himalaya, Earth, Planets and Space, Vol. 68, No. 31, 2016.