

令和元年6月7日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16370

研究課題名(和文)プレート境界近傍の堆積盆地における強震動予測に関する研究

研究課題名(英文)A study on strong ground motion in sedimentary basin near plate boundary

研究代表者

重藤 迪子(Shigefuji, Michiko)

九州大学・人間環境学研究院・助教

研究者番号：90708463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：プレート境界地震での震源近傍における堆積盆地の強震動予測の高精度化を目的に、インドプレートとユーラシアプレートの衝突帯で発生した2015年ネパール・ゴルカ地震の震源断層近傍に位置するカトマンズ盆地で観測された長周期地震動を対象とし、その生成メカニズムの解明を行った。岩盤観測点で観測された幅約5秒の長時間幅パルス地震動は、最近傍のすべり域からの近地項・中間項に大きく影響を受けたものであり、その地震動が軟弱な堆積盆地に入力することで増幅され、周期約3～5秒で200～500 cm/sにおよぶ長周期地震動が生成されたことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2015年ネパール・ゴルカ地震のカトマンズ盆地の堆積上観測点における強震動は、周期3～5秒において大きなパワーを有し、日本の現行の建築基準法で規定する告示波の応答スペクトルを上回る過去に経験したことの無い長周期に強力な破壊力のあるものであり、その強震動の生成メカニズムの解明は重要である。

研究成果の概要(英文)：Generally, the strong ground motion is strongly affected by the sedimentary basin. Slip pulse motions are generated when the seismic source fault is located near the seismic station. In this study, we explored the generation mechanism of the slip pulse motion which is observed on the rock site in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha Nepal earthquake. We revealed that this slip pulse motion is largely affected by the near-field and the intermediate terms from the nearest slip area and amplified by the basin.

研究分野：地震工学

キーワード：震源断層近傍 堆積盆地 強震動予測 2015年ネパール・ゴルカ地震(Mw7.8) カトマンズ盆地

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

震源断層近傍では、断層すべりの影響が直接反映された数秒程度の長時間幅の速度パルス地震動が観測される。1992年ランダース地震、1999年台湾集集地震、2016年熊本地震の地表震源断層近傍で観測される Fling Step (Hisada and Bielak, 2003) とされる地震動は、震源近傍の地震動の特徴として挙げられ、超高層建物や免震建物に大きな影響を及ぼす事が指摘されている。

2015年4月25日にインドプレートとユーラシアプレートの衝突帯で発生したネパール・ゴルカ地震 (M_w 7.8) では、地表地震断層が認められないが、低角逆断層面のプレートの直上約 10 km に位置するカトマンズ盆地の岩盤サイトにおいて、断層直交成分で幅約 6 秒の片振幅の速度パルス地震動が得られた (Takai et al., 2016)。そのパルス幅は、 M_w と Fling Step のパルス幅の経験式 (Kamai et al., 2014) とも合致する。さらに、カトマンズ盆地の堆積層上に位置する強震観測点の観測記録は周期 3~5 秒において大きなパワーを有し、日本の現行の建築基準法で規定する告示波の応答スペクトルを上回る過去に経験したことの無い長周期に強力な破壊力のあるものである。

本地震と同様に、プレート境界を含めた断層の直上に位置する堆積盆地では、長時間幅速度パルス性地震動が堆積盆地による影響を受けて増幅する可能性があり、その生成要因の解明が強震動予測の高精度化において重要である。

2. 研究の目的

本研究ではプレート境界地震の震源近傍における堆積盆地の強震動予測の高精度化を目的に、2015年ネパール・ゴルカ地震 (M_w 7.8) の震源断層近傍で得られた長時間幅速度パルス地震動の生成とカトマンズ盆地における増幅メカニズムの解明を行う。カトマンズ盆地では速度構造に関する情報が乏しいことから、まず、新たに S 波速度構造モデルを構築する。さらに、2015年ネパール・ゴルカ地震の既往の震源断層モデルを基に、カトマンズ盆地で観測された強震記録を説明するすべり域を抽出し、その生成メカニズムについて検討する。最後に構築した速度構造モデルに基づく強震動シミュレーションから観測記録を再現し、増幅メカニズムについて検討する。

3. 研究の方法

(1) ネパール・カトマンズ盆地の速度構造モデルの構築

初期モデルとして、既往の地質情報などを収集し、カトマンズ盆地の 3 次元 S 波速度構造モデルを構築する。まず、2015年ネパール・ゴルカ地震の余震観測で得られた中小規模地震の強震記録を用いて、カトマンズ盆地内の強震観測点 8 地点において、観測 H/V スペクトルと拡散波動理論 (Kawase et al., 2011) に基づく理論 H/V スペクトルの比較、および岩盤サイトの観測波形を入射波として Propagator matrix 法 (Aki and Richards, 1980) により求めた堆積層サイトの計算波形と観測波形の比較から、観測点直下の 1 次元速度構造モデルのチューニングを行う。次に、2015年ネパール・ゴルカ地震の最大余震 (M_w 7.3) を対象として 3 次元シミュレーションを実施し、3 次元速度構造モデルを検証する。

(2) 2015年ネパール・ゴルカ地震のカトマンズ盆地の強震動を説明する震源モデルの検討

既往の震源断層モデルに基づき、カトマンズ盆地の岩盤サイトで観測された長時間幅速度パルス地震動に影響を与えるすべり域を抽出する。さらに、その生成に関する基礎的な検討として、表現定理に基づく全無限媒質空間における地震動を近地項・中間項・遠地項の各項をそれぞれ計算し、それらの寄与を確認する。

(3) 2015年ネパール・ゴルカ地震の強震動シミュレーション

(1) で構築した強震観測点直下の 1 次元速度構造モデル、(2) で検討した震源モデルに基づき、堆積層上の強震観測点に対してシミュレーションを実施し、長時間幅速度パルス地震動の増幅メカニズムを解明する。

4. 研究成果

(1) ネパール・カトマンズ盆地の速度構造モデルの構築

推定した S 波速度構造モデルの基盤形状は地点により急変し、複雑であり、地震基盤と堆積層との S 波速度コントラストも非常に大きい。強震観測点の直下の 1 次元速度構造に基づく SH 波の鉛直入射による 1 次元地盤増幅率は、堆積層サイトで 0.2~0.8 Hz の低周波数側にピークをもつ。これは、2015年ネパール・ゴルカ地震の各観測点の卓越周期と一致する (図 1, 2)。さらに、速度構造モデルの検証のために、レシーバー関数解析 (小林・他, 1998) を実施した。観測記録に基づく PS-P 時間は、盆地内で大きく変化し、速度構造モデルから計算される値と概ね一致することが確認できた。本成果の一部は、Bijukchhen et al. (2017) で発表している。

次に、2015年ネパール・ゴルカ地震の最大余震を対象に、3次元差分法 (Aoi and Fujiwara, 1999) を用いて強震動シミュレーションを行った。観測記録を概ね再現するが、盆地端部の観測点については、過大評価となっている。シミュレーション結果によるカトマンズ盆地全体における最大

速度の空間分布からは、堆積層が厚い地点で地震動が大きく増幅するのみならず、複雑な基盤形状が影響し、盆地周縁部で局所的に高振幅となる。これは、過去の被害地震（1934年ネパール・ビハール地震； M_w 8.1）の被害分布（Rana, 1935）とも共通する点が見られ、今後、堆積盆地周縁部での地震動伝播性状の詳細な検討が必要となる。

(2) 2015年ネパール・ゴルカ地震のカトマンズ盆地の強震動を説明する震源モデルの検討

2015年ネパール・ゴルカ地震のカトマンズ盆地内の岩盤サイトの断層直交方向成分と鉛直成分で見られた片振幅の長時間幅速度パルスに大きく寄与するようなすべり域を、Kobayashi et al. (2016)の震源断層モデルを基にして抽出した。10 km×10 kmの小断層の中心に点震源を置いて、理論波形を計算し、カトマンズ盆地での地震動に与える影響を検討した。理論計算には離散化波数法（武尾, 1995）を用い、震源時間関数は、規格化Yoffe関数（Tinti et al., 2005）、パルス幅は岩盤サイトの観測記録のパルス幅から6.5秒とした。破壊伝播速度は3.3 km/s（一定）を仮定して重ね合わせた。

カトマンズ盆地で観測された速度、変位波形は、震源から南東、盆地より北西～北東の30 km×80 kmの大すべり域からの寄与で説明できる。さらに、全無限媒質空間における地震動を表現定理（Aki and Richards, 1980）に基づき、8つの純粋な低角逆断層地震が順次破壊する事を想定して、近地項・中間項・遠地項の各項をそれぞれ計算し、パルスへの寄与を確認した結果、岩盤観測点で観測された長時間幅パルス地震動は、最近傍のすべり域からの近地項・中間項に大きく影響を受けたものであることが明らかになった。本成果の一部は、高井・他(2018)で発表している。

(3) 2015年ネパール・ゴルカ地震の1次元強震動シミュレーション

強震観測点直下の1次元速度構造に基づき、離散化波数法（武尾, 1995）を用いて堆積層上の強震観測点に対してシミュレーションを実施した。図3に観測速度波形と理論速度波形の比較を示す。主要動部は概ね再現でき、岩盤観測点で観測された長時間幅パルス地震動が堆積盆地に入力することで増幅され、長周期地震動が生成されたことが明らかになった。また、岩盤サイト、鉛直成分は再現性が高いが、水平動の後続部分は再現性が低く、直下の構造のみならず、3次元的な盆地効果を考慮する必要があることがわかった。

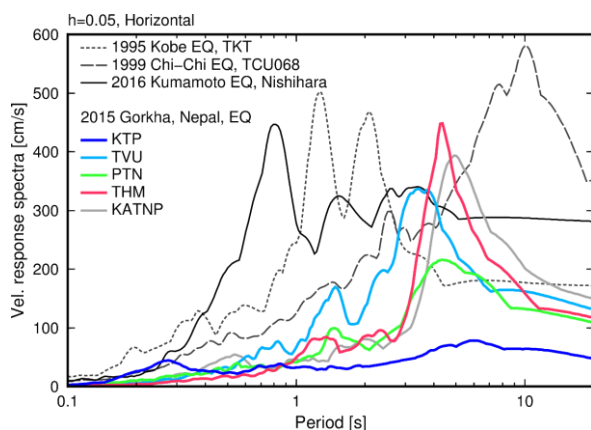


図1 2015年ネパール・ゴルカ地震における速度応答スペクトル（水平動， $h=5\%$ ）

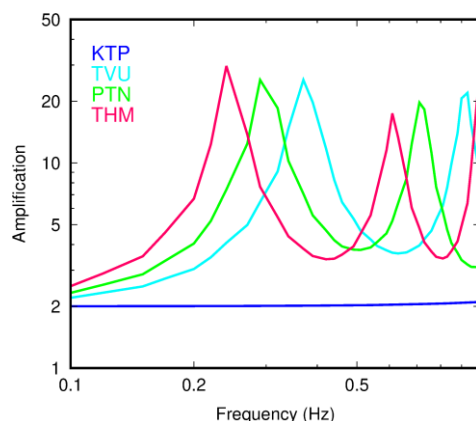


図2 1次元地盤増幅率 (Bijukchhen et al., 2017)

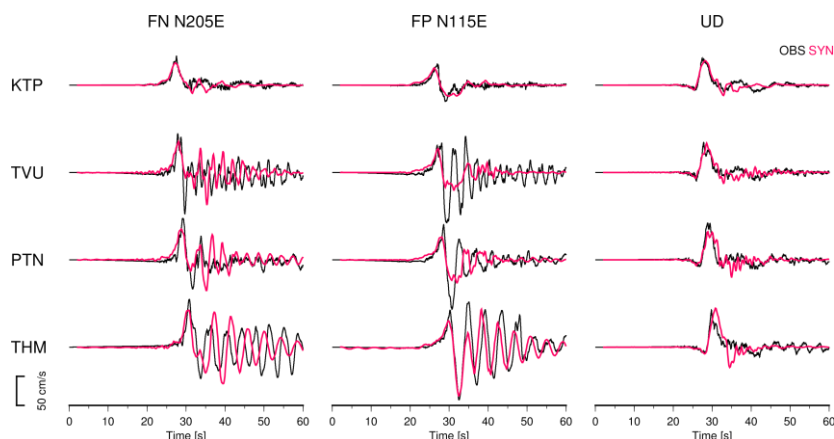


図3 2015年ネパール・ゴルカ地震の観測速度波形（黒実線）と理論速度波形（赤実線）の比較。KTPは岩盤サイト、TVU、PTN、THMは堆積層サイト上の観測点。FN：断層直交成分、FP：断層平行成分、UD：鉛直成分

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Shigefuji, M., N. Takai, S. Bijukchhen, C. Timisina, T. Mori, M. Bhattarai, Estimation of the shallow velocity structure using surface wave method in the Kathmandu Valley, Nepal, Proceedings of the 13th SEGJ International Symposium, Tokyo, Nov. 2018. (査読有)
- ② Bijukchhen, S., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, Strong-Motion Characteristics and Visual Damage Assessment Around Seismic Stations in Kathmandu after the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake. Earthquake Spectra, 33, S1, S219-S242, 2017. (査読有)
- ③ Bijukchhen, S., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Y. Sugimura, Estimation of 1-D velocity models beneath strong-motion observation sites in the Kathmandu Valley using strong-motion records from moderate-sized earthquakes, Earth, Planets and Space, 69:97, 2017. (査読有)

〔学会発表〕(計20件)

- ① 毛利匠帆, 重藤迪子, 神野達夫, 高井伸雄, 2015年ネパール・ゴルカ地震の余震記録を用いたネパール・カトマンズ盆地における応答スペクトルの単一サイト予測式, 第15回日本地震工学シンポジウム, 1788-1796, 仙台, 2018年12月.
- ② 高井伸雄, 重藤迪子, 笹谷努, 地表断層を生じない低角逆断層による長時間幅速度パルス性地震動, 第15回日本地震工学シンポジウム, 1000-1007, 仙台, 2018年12月.
- ③ Shigefuji, M., N. Takai, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, A study on site effects in the Kathmandu Valley, Nepal for the 2015 Mw7.8 Gorkha Earthquake aftershocks, Proceedings of 15th Annual meeting Asia Oceania Geoscience society, SE22-35-A060, Honolulu, June 2018.
- ④ Nobuo, T., M. Shigefuji, S. Bijukchhen, H. Miyake, K. Koketsu, M. Bhattarai, C. Timisina, S. Singh, Strong Motion Observation Network in the Kathmandu Valley, Nepal, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 千葉, 2018年5月.
- ⑤ Bijukchhen, S., N. Takai., M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Identification of Nonlinear soil response in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha, Nepal Earthquake (Mw7.8), 日本地震学会秋季大会, S15-P11, 鹿児島, 2017年10月.
- ⑥ 高井伸雄, 重藤迪子, Bijukchhen Subeg, 笹谷努, 2015年ネパール・ゴルカ地震における長周期スリップパルス地震動の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 217-218, 広島, 2017年9月.
- ⑦ Shigefuji, M., N. Takai, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, A Study on Characteristics of Long Period Ground Motion in the Kathmandu Valley based on the 2015 Gorkha Nepal earthquake aftershocks, Proceedings of the Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting, SSS15-P14, Chiba, Japan, May 2017.
- ⑧ Takai, N., Shigefuji, M., S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, Characteristics of Near Fault Strong Ground Motion in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha Nepal earthquake, Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting, SCG70-05, Chiba, Japan, May 2017.
- ⑨ Bijukchhen, S., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Preparation of 1D velocity structure using records from moderate sized earthquakes, IAG-IASPEI 2017, S07-1-04, Kobe, July-August 2017.
- ⑩ Shigefuji, M., N. Takai, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Features of long-period ground motion on the Kathmandu Valley for the 2015 Gorkha Nepal earthquake sequence, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, N4566, Santiago Chile, January, 2017.
- ⑪ Takai, N., M. Shigefuji, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Characteristics of strong ground motion in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha, Nepal earthquake, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, N4590, Santiago Chile, January, 2017.
- ⑫ Bijukchhen, S., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Strong motion observation and damage assessment in Kathmandu, Nepal after April 25, 2015 Gorkha earthquake, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, N1581, Santiago Chile, January, 2017.
- ⑬ Shigefuji, M., N. Takai, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, Characteristics of long-period ground motion in the Kathmandu Valley from the large aftershocks of the 2015 Gorkha Nepal earthquake, Proceedings of 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, P206F, Taipei Taiwan, August 2016.

- ⑭ Takai, N., M. Shigefuji, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, Features of ground accelerations in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha Nepal earthquake, Proceedings of 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, P207F, Taipei Taiwan, August 2016.
- ⑮ Bijukchhen, S., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, and T. Sasatani, Trial construction of 1-D Velocity structure of Kathmandu Valley using the 2015 Gorkha earthquake records, Proceedings of 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, P111A, Taipei Taiwan, August 2016.
- ⑯ 重藤迪子, Bijukchhen Subeg, 高井伸雄, 笹谷努, 2015年ネパール・ゴルカ地震の余震群におけるカトマンズ盆地で観測された強震記録, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1193-1194, 福岡, 2016年8月.
- ⑰ Bijukchhen Subeg, 重藤迪子, 高井伸雄, 笹谷努, Strong Ground Motion Characteristics in Kathmandu during the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake by Seismic Records and Visual Building Damage Survey, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1191-1192, 福岡, 2016年8月.
- ⑱ 高井伸雄, Subeg Bijukchhen, 重藤迪子, 笹谷努, 2015年ネパール・ゴルカ地震の最大余震の後続波を用いたカトマンズ盆地周辺の深部 S 波速度構造の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1195-1196, 福岡, 2016年8月.
- ⑲ 重藤迪子, 高井伸雄, Bijukchhen Subeg, 一柳昌義, 笹谷努, カトマンズ盆地で観測された2015年ネパール・Gorkha地震群における長周期地震動, 日本地球惑星科学連合2016年大会, SSS25-16, 千葉, 2016年5月.
- ⑳ Bijukchhen, S., N. Takai, M. Shigefuji, M. Ichiyanagi, T. Sasatani, Y. Sugimura, 1-D simulation of long-period ground motions in the Kathmandu Valley during medium and large earthquake, 日本地球惑星科学連合2016年大会, SSS28-P14, 千葉, 2016年5月.

[図書] (計1件)

- ① 高井伸雄, 重藤迪子, 三宅弘恵, Bijukchhen Subeg, 一柳昌義, 笹谷努 (執筆分担), 2015年ネパール・ゴルカ地震災害調査報告書, 日本建築学会, 2016年12月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

研究代表者氏名： 重藤 迪子
 ローマ字氏名： SHIGEFUJI, Michiko
 所属研究機関名： 九州大学
 部局名： 人間環境学研究院
 職名： 助教
 研究者番号 (8桁)： 90708463

(2) 研究協力者

研究協力者氏名： 高井 伸雄
 ローマ字氏名： TAKAI, Nobuo

研究協力者氏名： BIJUKCHHEN Subeg

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。