

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23404005

研究課題名(和文)カトマンズ盆地における3次元地下構造モデルの構築とそれに基づく強震動予測

研究課題名(英文)Earthquake strong motion estimation of Kathmandu basin with underground structure

研究代表者

高井 伸雄 (TAKAI, NOBUO)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10281792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：ネパール国の世界遺産地域であるカトマンズ盆地において、現地の地質・地震学の専門家と共同で、地下構造を評価し、それに基づいた、強震動評価を試みた。第1に強震観測を盆地内外で開始した。第2に観測地点の付近の浅部地下構造を表面波探査法により推定した。強震観測により良好な地震記録が得られており、それら記録のスペクトルより、表面波探査により推定した地下構造と整合性のある事を確認した。カトマンズ盆地および周縁部で得られていなかった強震記録を高品質で得たのは本研究が初めてであり、今後の強震動予測への重要な基礎資料となる。

研究成果の概要(英文)：I tried the strong motion evaluation of the Katmandu Basin that was the world heritage area of the Nepalese country. I evaluated basement structure in cooperation with an expert of the local geological feature, seismology. I started strong motion observation inside and outside of the basin. I estimated the shallow underground structure near the observation sites by the surface wave exploration method. High quality strong motion data was recorded in each site. I could confirmed these time series data and spectra with the shallow underground structure for each sites. These data which were recorded in Katmandu Basin and a penumbra for the first time will be important basics data to a strong motion prediction in the future.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：自然災害科学

キーワード：カトマンズ 盆地 強震観測 地下構造探査

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) ヒマラヤ造山帯に位置するネパール国の首都カトマンズを有するカトマンズ盆地では、過去に多くの地震被害を受けている。カトマンズ盆地はかつて湖であり、1985年に大きな被害を生じたメキシコシティーに類似しており、直近の活断層による被害に留まらず、比較的遠方の大地震時においても甚大な被害を受けているのは、盆地構造の影響による地震動の増幅が被害増加の一因であると考えられる。
- (2) 近年の爆発的な人口増加に伴う建造物の無秩序な増加により、今後の大地震において甚大な被害を及ぼすことが指摘されている。
- (3) 将来起こりうる地震災害を軽減するためには、第1に適切な強震動評価を実施する必要がある。
- (4) しかし、強震動評価を実施するに耐えうる強震観測記録は存在しない。
- (5) 強震観測記録の蓄積および強震観測点近傍の地下構造の評価は将来の強震動予測を実施する上で必要不可欠のものである。

## 2. 研究の目的

- (1) カトマンズ盆地では過去にも地震被害を多く受けているが、地震防災対策立案の基礎となる強震動評価はこれまでになされていない。
- (2) 本研究では、ネパール国の世界遺産地域であるカトマンズ盆地において、現地の地質・地震学の専門家と共同で、地下構造を評価し、それに基づいた、強震動評価を試みるものである。
- (3) これにより今後の地震防災対策立案・都市防災計画実施に有用なデータを供する事が可能となる。

## 3. 研究の方法

- (1) 本研究はカトマンズ盆地での現地調査により得られたデータを基に地下構造モデルを評価し、それに基づき強震動評価を実施する。
- (2) 基礎データとしてこれまでの主な地震災害に関しての被害記録の収集を実施する。
- (3) 第1に盆地内外の数点での強震観測を実施する。
- (4) 第2に強震観測点近傍では表面波探査法を用いて浅部地下構造を把握する。
- (5) 第3に、強震観測で得られた強震記録と浅部地下構造結果を用いて強震記録の検討を実施する。

## 4. 研究成果

- (1) 主な地震被害
  - ① 1934年にはM=8.3の地震が発生し7000人以上が死亡している。また、1833

年にはM=7.8の地震があり首都カトマンズに大きな被害を与えている。

- ② 1988年ネパール・インド東部国境地域でM=6.6の地震があり、ネパール側では死者721人、負傷者5000人以上を生じている。
- ③ 2011年インド北東部地震でMw6.9の地震が発生した。この地震は、ユーラシアプレートに対するインドプレートの沈み込み帯付近で発生した。インドプレートはおよそ年間46mmほどの速度でユーラシアプレートの下へ北北東向きに沈みこんでおり、ヒマラヤ山脈を形成している。本地震は右横ずれ断層であり、プレートの境界では無く、プレートの内部での地震と考えられる。震源近傍では最大震度VI+ (MSK震度階)と推定され、75分以内に発生したMw4.5とMw5.0の余震により被害が拡大した。震源域では、広範囲に渡り地滑りと建物被害が発生し、それによりインド国内で78名、ネパール国内で9名、中華人民共和国チベット自治区で7名の死者が発生し、ブータンでも建物被害が発生している。ネパールでの死者の内の3名は震央から250km以上離れた首都カトマンズで、古く脆弱なイギリス大使館の外壁の崩壊により、通行中に犠牲となった。現地周辺の建物は公共建物を含めて構造設計がなされていない脆弱な建物が多く、被害を拡大させた。また、不安定な堆積岩が分布する地域のため、地滑り被害はインド国内で354カ所にのぼり、道路閉鎖、橋梁被害を生じ、それにより応急・復旧作業の妨げとなった。

### (2) 強震観測

- ① 強震動予測の実施のため、カトマンズ盆地に4点の強震観測点を設置した。観測点の選定には盆地外の岩盤観測点から盆地内へ東西への測線を選び、主にトリブバン大学および公共施設の建物内に設置した。
- ② 観測には、加速度強震計：ミットヨ JEP-6A3-2, データロガー：白山工業 DATAMARK LS-7000XT, 8800を用い、停電の多発および電圧安定性の低い現地の状況からバッテリー及び高電圧遮断装置を用いている。全ての強震計は建物の1階に設置されており、コンクリート床にアンカーボルトで固定した。
- ③ 観測点の設置は2011年9月20日~9月22日に実施した。4観測点の一覧を表1に観測点位置を図1に示す。
- ④ 全観測点で連続観測としており、今後ノイズレベルを吟味した上でトリガー観測に変更することもあり得る。観測点KTPは岩盤サイトと考えられる。図2に観測開始直後の平穏な微動区間を選択して加速度記録を速度記録に変換して40秒間示す。微動振幅はTVUが最も高く

KTP が他と比較して非常に低い。

表 1 観測点一覧

CODE	Building Name	Bld. Type	Altitude
KTP	Kirtipur Municipality Office	RC 4F	1384m
TVU	Department of Geology, Tribhuvan University	RC 2F	1315m
PTN	Engineering College, Tribhuvan Univ., Patan(Lalitpur)	RC 1F	1304m
THM	University Grants Office, Thimi, Bhaktapur	RC 2F	1321m



図 1 観測点配置

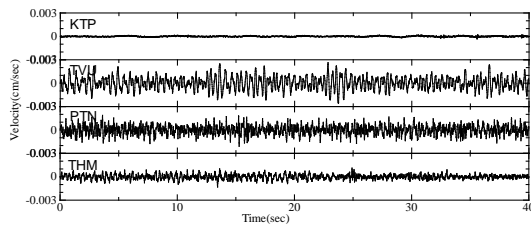


図 2 各観測点での微動記録の上下動成分

(3) 強震観測点付近の浅部地下構造探査

① 表面波探査によって得られた記録から表面波の位相速度を求めることで、観測地点の表層地盤のS波速度構造を推定する。表面波探査は2011年9月20日から9月22日に実施した。

- ・ 起震：かけや
- ・ 受震：4.5Hz 速度型地震計 (GS-11D @380 Ohms)
- ・ データ収録：GEODE Seismic Recorder (OYO)

② 得られた記録に対して、最尤法を用いたF-K解析を行い、その値の分布からRayleigh波の位相速度分散曲線を読み取った。読み取った分散曲線から高次モードを考慮し、理論的に再現する構造を逆解析的に求めることで、各観測点の表層地盤S波速度構造を推定した。

③ 図3に各観測点の観測記録のF-K解析結果を、図4に推定した表層地盤S波速度構造をそれぞれ示す。

④ 図4に示した結果から、KTPは岩盤サイトと思われ、その他の地点は平均的には約100~200m/sが推定されたのである。TVUの最表層とTHMの構造の最表層に高速度層が見られるのは、地盤改良によると考えられ、特にTHMではコンクリートによる表層改良を反映しているものと考えられる2100m/sの層が約20cm存在する。

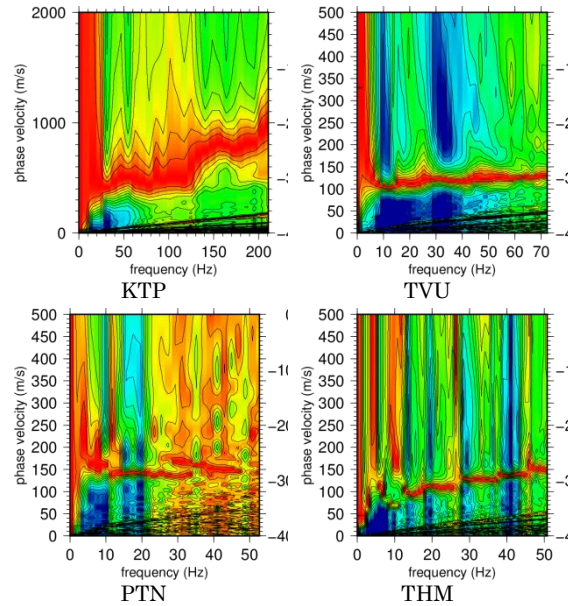


図 3 各地点のF-K値

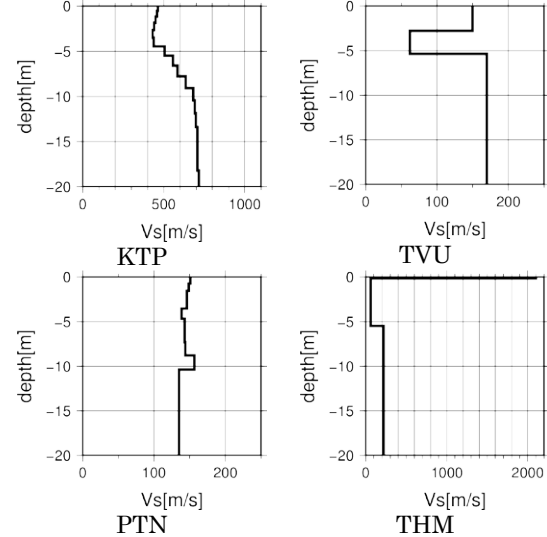


図 4 各地点の推定S波速度構造

(4) 強震記録の検討

① 図5に2013年6月28日、カトマンズから震央距離約300km離れたネパール国ルルクム郡で発生した地震(Mw 5.0, 深さ10.0 km; USGS)の震央位置、図6に観測速度波形を示す。

② 図7にフーリエスペクトルを一例として示す。

③ 速度波形はストップバンド0.1 Hzのハイパスフィルターを施し、スペクトルは幅0.1 HzのParzen windowで平滑化している。

④ 波形を見ると、盆地外の露頭岩盤上に位置するKTPで振幅が小さく、盆地内に位置するTVU, PTN, THMで振幅が大きい。

⑤ スペクトルでも、低周波側において各観測点に顕著な差異が見られ、TVUは約0.3-2.0 Hzにおいてピークを有し、その振幅はKTPの約10倍である。他の地震でも同様の傾向がみられ、地下構造を反映していると考えられる。

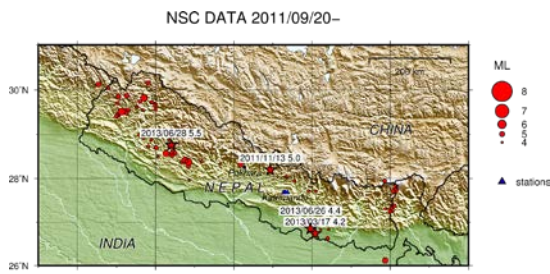


図5 記録された主な地震の震央分布

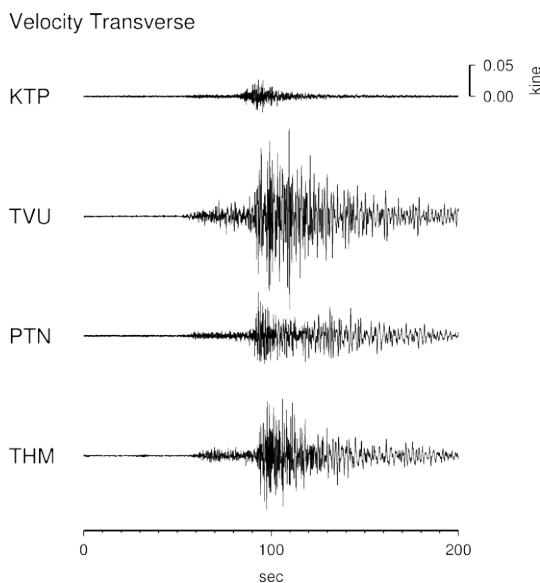


図6 2013年6月28日 ネパール西部の地震 (Mw5.0)による速度波形

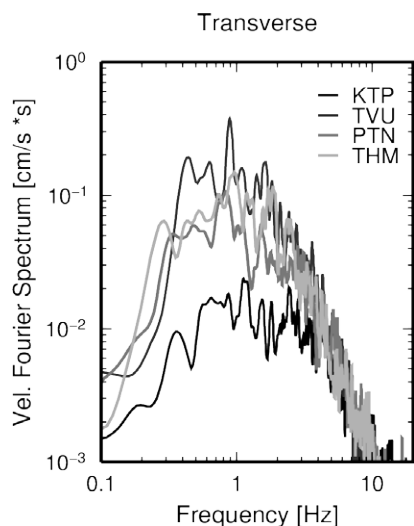


図7 速度フーリエスペクトル

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 5件)

- ① 高井伸雄・重藤迪子・澤田耕助・青木雅嗣・一柳昌義・笹谷努・Yadab DHAKAL・Megh Raj DHITAL:「ネパール国カトマンズ盆地の強震動評価ー強震観測点の浅部地下構造と強震記録ー」, 日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 32, pp.155-156, 日本自然災害学会学術講演会, 2013年9月25日, 北見.
- ② 澤田耕助・高井伸雄・Dhakal Yadab・重藤迪子・岡島秀樹・宮原有史・笹谷努:「ネパール国カトマンズ盆地の強震動評価 強震観測点各点の表層地盤の S波速度構造と強震記録」, 日本建築学会学術講演梗概集 B-2 分冊, pp.239-240, 日本建築学会大会, 2013年8月31日, 札幌.
- ③ 重藤迪子・高井伸雄・澤田耕助・青木雅嗣・一柳昌義・笹谷努・Yadab DHAKAL・Megh Raj DHITAL:「ネパール国カトマンズ盆地における強震観測」, 日本地震学会秋期大会講演予稿集, P2-32, pp. 192, 日本地震学会秋期大会, 2013年10月9日, 横浜.
- ④ 澤田耕助・高井伸雄・Yadab Dhakal・重藤迪子・岡島秀樹・宮原有史・前田宜浩・笹谷努:「ネパール国カトマンズ盆地の強震動評価 強震観測点各点の表層地盤の検討」, 日本建築学会学術講演梗概集 B-2 分冊, p.171-172, 日本建築学会大会, 2012年9月13日, 名古屋.
- ⑤ 高井伸雄・澤田耕助・重藤迪子・岡島秀樹・宮原有史・一柳昌義・笹谷努・Yadab DHAKAL・Ghimire SUBESH, Megh Raj DHITAL:「ネパール国カトマンズ盆地の強震動評価ー強震観測点の設置ー」, 日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 30, pp.173-174, 日本自然災害学会学術講演会, 2011年10月19日, 東京.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高井 伸雄 (TAKAI, Nobuo)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 10281792

(2) 研究分担者 なし

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者 なし

( )

研究者番号: