

令和元年6月17日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06586

研究課題名（和文）震源近傍の強震動予測手法の開発と工学的利活用に関する研究

研究課題名（英文）Development of Strong Ground Motion Prediction Method near Active Fault and Its Engineering Application

研究代表者

久田 嘉章（Hisada, Yoshiaki）

工学院大学・建築学部（公私立大学の部局等）・教授

研究者番号：70218709

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：まず2015年ネパール・ゴルカ地震で観測した長周期パルス地震動が約10kmの深さの震源断層からの地震動による堆積盆地への増幅波であることを明らかにした。次に、震源逆解析データと強震記録から地震発生層より浅い領域から発生するフリングステップにおけるすべり速度関数の経験的な構成則を導き、従来の強震動予測レシピを改善する予測モデルを構築した。さらに2016年熊本地震、1999年コウジャエリ地震、2008年四川地震等の大規模な活断層帯地震での震源近傍の観測記録の再現性を確認し、手法の妥当性を検証した。最後に、超高層建築における長周期パルス等の長周期地震動に対する効果的な制震補強の検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題により従来の強震動予測手法（強震動予測レシピなど）では適用外であった地表地震断層を含む、大地震の震源近傍における広帯域の強震動再現するための震源断層モデルのデータベースを整理し、それを用いた実用的な強震動予測手法を開発した。さらに建築物への設計・検証用の地震動や地震被害想定に適用し、従来法との違いや提示する手法の有効性を提示したうえで、全ての結果を公表し、誰でも使用可能とすることに特色がある。大地震の震源近傍における具体的な強震動予測手法を開発し、熊本地震などの具体的な適用例とともに提示することで、学術的・社会的にも有益な研究になったと考えている。

研究成果の概要（英文）：First, we clarified that the long-period pulse ground motion observed by the Nepal Gorkha earthquake was the ground motion from the source fault of about 10 km depth and amplified in the sedimentary basin. Next, we derived the empirical constitutive law of the slip rate function considering the fling step generated from the region shallower than the seismogenic layer, and constructed a prediction model to improve the conventional strong motion prediction recipe. Furthermore, we confirmed the reproducibility of the observation records near large-scale active fault earthquakes such as the 2016 Kumamoto earthquake, the 1999 Kocaeli earthquake, and the 2008 Chi-Chi earthquake, and verified the validity of the method. Finally, we examined effective seismic reinforcement in high-rise buildings by considering long-period ground motions.

研究分野：地震工学

キーワード：長周期パルス 強震動予測レシピ フリングステップ 2016年熊本地震 2015年ネパール・ゴルカ地震  
超高層建築

## 1. 研究開始当初の背景

近年、国・自治体による多くの地震被害結果が公開されているが、大地震の震源断層の直上ではほぼ全域が震度6強以上となるなど、歴史地震などによる現実の震度分布に比べて過大に評価される傾向がある。例えば内閣府による想定首都直下地震（都心南部直下地震）と1855年安政江戸地震による震度分布を比較すると、前者の想定では東京23区内はほぼ全域で震度6強以上であるが、後者の歴史的事実では震度6は下町低地などごく一部の地域に限定され、山の手台地など殆どの地域では震度5以下である。被害想定の結果が現実よりも「安全側（過大）」になる一因は災害対策の推進を目的とするためであるが、一方で次の首都直下地震により「東京は火の海になり壊滅」、「逃げるしか対策がない」、「世界一危険な都市」などの誤解を生み、国益を損なっている面がある。今後、より科学的な手法を導入した被害想定が必要になっている。一方、大地震の震源近傍における強震動の予測手法は現状では確立されておらず、現行の強震動予測手法（強震動予測レシピなど）を適用すると、震源近傍では単純な大振幅の指向性パルス（キラーパルス）などを発生し、現行の耐震設計基準では設計不可能なほどの過大破壊力ある強震動を予測する可能性がある。実際に観測される震源近傍の強震記録は、レシピ等で計算される単純な地震動より遥かに複雑な波形の特性を示し、揺れによる大きな建物被害があまり生じないことが多い。例えば、研究代表者（久田）が実施した2011年福島県浜通り地震（Mw7）における地表地震断層の直上の伝統木造建築の被害などでは、地表断層の変形により建物に大きな被害が生じているが、周辺の建物には強震動による大きな被害は生じておらず、断層直上を除く近傍の震度も5強～6弱であった。同様に、研究分担者（高井・重藤）が実施した2015年ネパール・ゴルカ地震（Mw7.8）による震源断層直上のカトマンズ市内の強震観測点と加速度応答スペクトルによると、震源深さが約15kmと浅い巨大地震であり、カトマンズ市は軟弱な堆積盆地上に位置しているが、強震記録による震度は5強～6弱であり、応答スペクトルも周期1秒以下の短周期では現行の耐震設計基準である告示スペクトル以下である。一方、長周期成分は告示スペクトルを凌駕しており、大地震の震源断層の直上で観測される長周期パルスと、カトマンズ盆地の増幅特性の影響を詳細に検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、首都直下地震や南海トラフ地震・南関東地震・などプレート境界型（海溝型）地震、地表地震断層が出現する活断層帯地震など、大地震の震源近傍における実用的な強震動予測手法を開発し、同時に建築物の設計・検証用の地震動策定法や地震被害想定への適用例を提示するなど、工学的利活用に関する研究を行うことを目的とする。このため、まず利用可能な大地震の震源断層近傍の強震記録や建物被害を整理し、広い帯域の震源モデルのデータベースを構築する。次に広帯域の強震動予測のための実用的な震源モデルを構築する。最後に、観測記録等の比較検討よりモデルの妥当性や予測強震動の確率やばらつきなどを工学的見地から検証し、設計・検証用地震動策定や地震被害想定など様々な適用例を提示し、得られた結果を全て公開する。

## 3. 研究の方法

本研究は3年間で実施した。まず1年目は、大地震時の震源近傍の強震動・建物被害データ、および、既存の震源データの収集・整理し、独自に行う震源逆解析のためのソフト・データを整備する。次に2年目は、2015年ネパール・ゴルカ地震（Mw7.8）の震源逆解析を実施し、1年目のデータと併せて、震源近傍の強震動予測モデルの試作（レシピの改善）を行う。最後に3年目には、構築した強震動予測モデルの妥当性を検証し、建築物の設計・検証用地震動や建物への影響評価、および地震被害想定など工学的利活用を行い、従来法による結果との比較検討から本提案法の有用性を検証する。毎年2～3回の打ち合わせ研究会を開催し、参加者間で綿密な情報共有と役割分担を確認し、最終年度には公開研究成果発表会を開催して全ての成果を公表した。

## 4. 研究成果

主な成果として、まず2015年ネパール・ゴルカ地震で観測した長時間幅パルス地震動の特性を明らかにし、次に震源近傍の長周期パルスを考慮した強震動予測モデルを構築し、最後に2016年熊本地震等の活断層近傍の強震動への適用、超高層建築への影響評価などを行った。具体的には、まずゴルカ地震に関して、既往の逆解析結果を基に長時間幅パルス地震動に影響を与える小断層部分を抽出し、理論計算によりパルス性地震動の生成に関する検討を行った。さらに抽出した小断層部分と観測点直下の速度構造モデルに基づき強震動計算を実施し、約10kmの深さの震源断層からの長時間幅パルス地震動が堆積盆地へ入力により、長周期地震動が生成された事を明らかにした。次に、これまでに収集した震源逆解析データと強震記録等から地震発生層より浅い領域（長周期パルス生成領域）から発生する永久変位を含むフリングステップ/パルスにおけるすべり速度関数の経験的な構成則を導き、従来の強震動予測レシピを改善する予測モデルを構築した。さらに、その手法を用いて国内の地震に加えて、1999年コウジャエリ地震、2008年四川地震過去など海外の大規模な活断層帯地震での震源近傍の観測記録の再現性

を確認し、手法の妥当性を検証した。特に2016年熊本地震では建物に甚大な被害を発生した益城町と、活断層の直上にもかかわらず大きな被害が殆ど生じなかった下陳における強震動特性は、地盤特性に加えて震源特性によることを示した。最後に、東京新宿に建つ超高層建築における長周期パルス等の長周期地震動に対する効果的な制震補強の検討など工学的な利活用を実施した。得られた成果は研究会により研究分担者・協力者による互いの成果を発表するとともに、日本地球惑星連合大会、日本建築学会、日本地震学会、第15回日本地震工学シンポジウムなどの関連学協会でも論文および講演で公開した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- (1) 田中信也、金田惇平、引間和人、久田嘉章：地表地震断層近傍における永久変位を含む長周期成分の地震動評価のための震源モデルの設定方法、日本建築学会構造系論文集、752、pp.1525-1535、2018 (査読あり)
- (2) 中西真子、久田嘉章、山下哲郎、笠井和彦：長周期・長時間地震動や活断層近傍の強震動など極大地震動を考慮した都心に建つ既存高層建築の制振補強に関する研究、日本地震工学会論文集、18/2、pp.62-81、2018 (査読あり)
- (3) 田中信也、引間和人、久田嘉章：震源インバージョン結果に基づく地震発生層以浅におけるすべり速度時間関数の評価、日本地震工学会論文集、17巻/8、pp.1-20、2017 (査読あり)
- (4) S. Rajaure, D. Asimaki, E.M. Thompson, S. Hough, S. Martin, J.P. Ampuero, M.R. Dhital, A. Inbal, N. Takai, M. Shigefuji, S. Bijukchhen, M. Ichiyonagi, T. Sasatani, L. Paudel: Characterizing the Kathmandu Valley sediment response through strong motion recordings of the 2015 Gorkha earthquake sequence, Tectonophysics, Vo.714-715, pp. 146-157, 2016 (査読あり)

〔学会発表〕(計25件)

〔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〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：高井 伸雄

ローマ字氏名：Nobuo Takai

所属研究機関名：北海道大学

部局名：工学研究院

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：10281792

研究分担者氏名：重藤 迪子

ローマ字氏名：Michiko Shigefuji

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：工藤 一嘉

ローマ字氏名：Kazuyoshi Kudo

研究協力者氏名：入倉 孝次郎

ローマ字氏名：Kojiro Irikura

研究協力者氏名：横田 崇

ローマ字氏名：Takashi Yokota

研究協力者氏名：田中 信也  
ローマ字氏名：Shinya Tanaka

※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。