

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420542

研究課題名(和文) 超巨大地震に対応した次世代高精度地震動評価式の開発

研究課題名(英文) Development of next generation ground motion prediction equation applicable to mega earthquakes

研究代表者

大野 晋 (Ohno, Susumu)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：40361141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超巨大地震へも適用可能かつばらつきの小さい次世代の地震動評価式を開発するため、超巨大地震を含む強震動データベースを構築し、それに基づく評価式の開発と性能評価を行なった。通常の少数の説明変数による評価式と、深層学習の手法を用いた多変数によるニューラルネットワークモデルを比較したところ、後者の方がよりばらつきを減少させることは可能であるという結果が得られた。ただし、面震源での適用性及び安定性については引き続き検討が必要である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is developing next-generation ground motion prediction equations (GMPE) that are applicable to mega earthquakes and the prediction errors to be small. At first, strong-motion database including mega earthquakes are constructed. Using this database, both of ordinary GMPE with small parameters by regression analysis and artificial neural network (ANN) with many parameters by using deep learning method are evaluated. The prediction errors by the ANN become smaller than those of the ordinary GMPE, while ANN's applicability to extended faults and stability are still to be investigated.

研究分野：地震工学

キーワード：巨大地震 地震動評価式 ニューラルネットワーク

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震に代表される超巨大地震について、国内外でその発生が危惧されており、超巨大地震にも適用できる地震動評価式の開発が必要となっている。同時に、地震動評価式は地震ハザード評価やリスク評価に不可欠であるが、現状ではばらつきが大きく、より信頼性を向上させる必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、国内外でその発生が危惧されている超巨大地震に備えて、超巨大地震へも適用可能かつばらつきを大幅に減少させた次世代の地震動評価式を開発すること、開発した評価式による地震ハザード・リスク評価を行い、その工学的な影響度を評価することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 強震記録データベース構築

超巨大地震を含む強震記録と震源・地盤情報のデータベースを構築する。

(2) パラメトリックモデルの開発

(1)のデータベースを対象に、通常のマグニチュード、距離、地盤条件など少ないパラメータによる地震動評価式を開発する。

(3) ノンパラメトリックモデルの開発

(1)のデータベースを対象に、震源情報としてマグニチュードと震源位置、観測点情報として観測点位置と各観測点の地盤条件を与えて深層学習によるニューラルネットワーク(ANN)モデルを構築する。

(4) 総合評価

(2)(3)の評価結果を取りまとめて性能評価を行う。

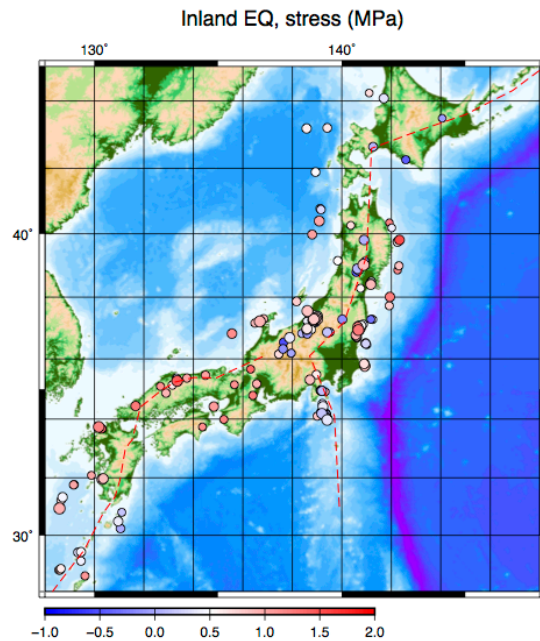
4. 研究成果

(1) 強震記録データベース構築

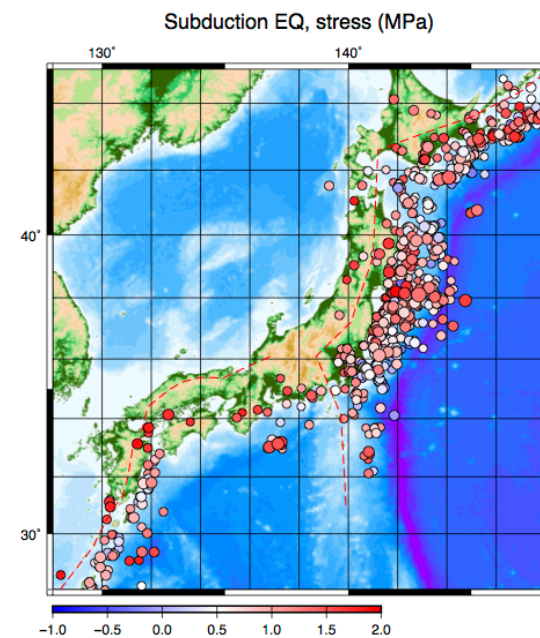
2015年未までに防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net で観測された JMA マグニチュード 5 以上の地震のうち、F-net や Global CMT などから地震モーメントが得られた地震を抽出した。その結果、 $4.5 \leq M_w \leq 9.0$ 、震源距離 300km 以下の 1104 地震、1841 観測点、231,492 記録をデータベース化した。

データベース化にあたり、内陸浅発地震、太平洋プレート及びフィリピン海プレートの沈み込みに関する地震の3種類に分類し、規模の大きい地震については断層パラメータを調査し、等価震源距離を計算した。観測点情報としては表層速度構造から表層 30m 平均 S 波速度 V_{s30} を求めると共に、長周期地震動予測地図の速度構造を用いて基盤深さを求めた。

また、地震基盤までの最適化地盤モデルが得られている 25 地点については表層地盤のはぎ取り解析を行い、露頭基盤相当の波形に変換した。



内陸地震の分布



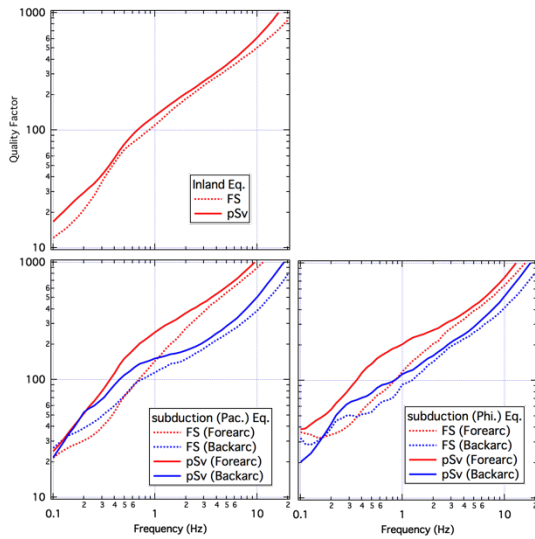
海溝型地震の分布

(2) パラメトリックモデルの開発

(1)で構築したデータベースの S 波区間フーリエスペクトルを対象にスペクトルインバージョン解析を行い、各地震の短周期レベル(応力降下量)、伝播経路の平均 Q 値、各観測点の増幅特性を求めた。Q 値算定の際には、異常震域を表現するため太平洋プレート、フィリピン海プレートそれぞれ前弧側・背弧側に分けて求めた。

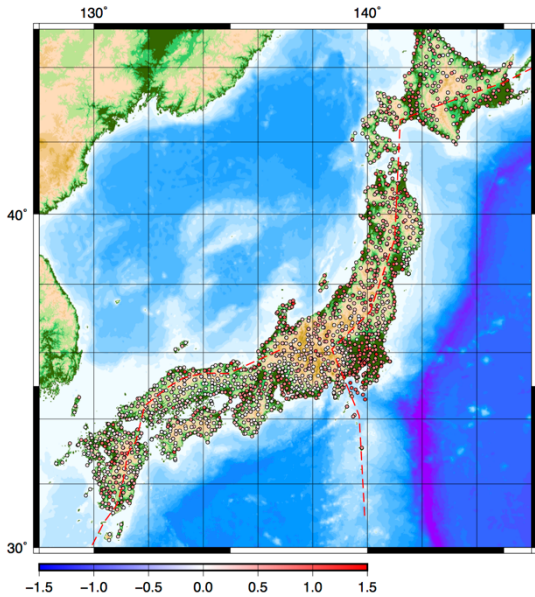
続いて、同じデータベースの全区間の加速度最大値・速度最大値・加速度応答スペクトルを対象にフーリエスペクトルと同じモデルでスペクトルインバージョン解析を行った。ここで得られた震源項と地盤増幅項について、前者はモーメントマグニチュードと応力降下量、後者は V_{s30} と地震基盤深さでモデル化し、

パラメトリックモデルとしての地震動評価式を構築した。このモデルでは、震源、伝播経路、地盤増幅が少ないパラメータで表現されていること、大地震で震源が広域に広がる効果を等価震源距離で点震源に置き換えて評価していることが特徴である。



伝播経路の平均Q値（上:内陸，左下:太平洋プレート，右下:フィリピン海プレート，FS:フーリエスペクトル，PSv:応答スペクトル）

Site Amp. Factor (1Hz)



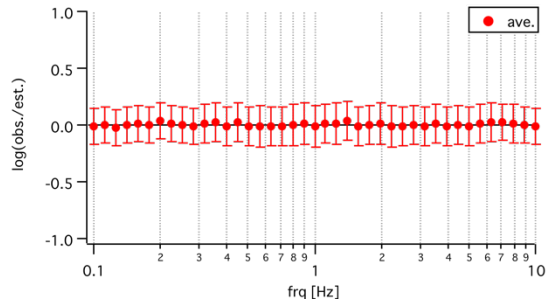
1Hz の地盤増幅率分布

(3) ノンパラメトリックモデルの開発

(1)のデータベースのうち、東北日本の記録に対して深層学習によるニューラルネットワークを構築した。その際、数値実験のデータベースを用いて入力変数とネットワーク構造、学習手順の検討を行った。

その結果、震源パラメータとしてMwと震源位置（規模が大きい地震は観測点に最も近い強震動生成域のMwとその位置）、観測点パラ

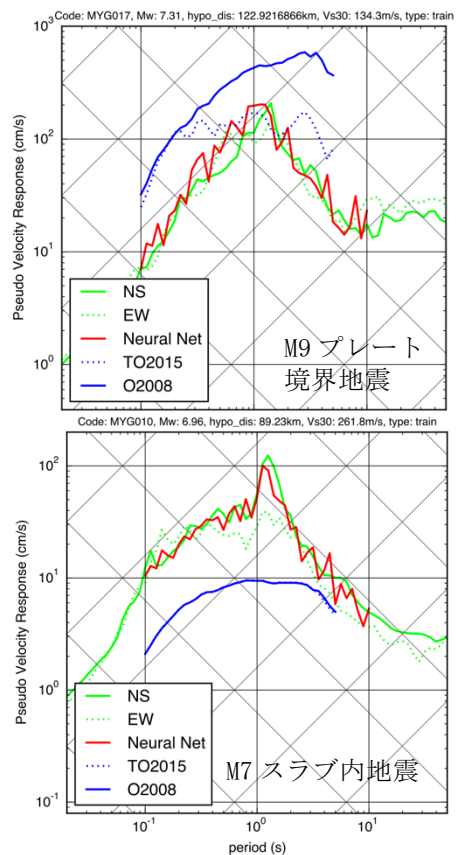
メータとして観測点位置とVs30を与えた。データベースの70%を訓練用、30%を評価用として用い、評価用で予測値に対する観測値（予測誤差）の標準偏差を評価したところ、周波数によらず0.16程度となった。(2)を含む通常の地震動評価式のばらつき0.25-0.3程度と比べてばらつきが低減できることを確認した。



ANNによる予測誤差の標準偏差

(4) 総合評価

2つのモデルで地震動評価結果を比較したところ、ANNモデルの方が（用いているパラメータが多いため）震源深さの違いや観測点固有の地盤増幅特性をより表現できることを確認したが、周波数特性の変動が大きい傾向が見られた。



評価例（緑：観測値，青：通常地震動評価式，赤：ANN）

総合して、ANN モデルによりばらつきを減少させることは可能であるが、面震源での適用性及び安定性については引き続き検討が必要と思われる結果となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ① Susumu Ohno, Ground Motion Prediction Equation Applicable to Mega Earthquakes Considering Strong-Motion Generation Areas, Proc. 16WCEE, 2017 年, 査読有, Paper No. 2685.
- ② 大野晋, 東北地方太平洋沖地震の強震記録の距離減衰特性と地震動評価式の適用, 日本地震工学会論文集, 16, 2016 年, 査読有, pp. 4_1-4_10.
- ③ 石塚博基, 大野晋, 野津厚, 強震動パルス重視した 2011 年東北地方太平洋沖地震の仙台市における強震動シミュレーション:14JEES 論文集, 2014, 査読無, pp. 2, 775-2, 784.

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 鶴田涼介, 大野晋, 等価震源距離を用いた地震動評価式の巨大地震への適用性に関する検討, 日本建築学会大会, 2015 年 9 月 6 日, 東海大学湘南キャンパス (神奈川)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大野 晋 (OHNO SUSUMU)
東北大学・災害科学国際研究所・准教授
研究者番号: 40361141

(2) 研究分担者

源栄 正人 (MOTOSAKA MASATO)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 90281708