

2011年東北地方太平洋沖地震の強震動と地震動災害 趣旨説明にかえて 2011 Tohoku Earthquake: strong motion and seismic disaster: purpose of the session

干場 充之^{1*}, 浅野 公之²

HOSHIBA, Mitsuyuki^{1*}, ASANO, Kimiyuki²

¹ 気象研究所, ² 京都大学防災研究所

¹Meteorological Research Institute, ²DPRI, Kyoto Univ.

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、未曾有の大きな被害となった津波を発生させたほか、東北から関東に至る広域で強震動をもたらした。K-NET 築館(MYG004)では、3成分合成で2900galを超える加速度が観測され、震度階としても震度7の揺れとなった。震央から350 km以上離れた群馬県や埼玉県でも震度6弱の揺れとなるなど、震度6強や震度6弱の強震動の範囲も東北地方から関東地域の非常に広い範囲に及んでいる。さらに、この地震の地震動の継続時間は極めて長い。東方地方の加速度記録には、一度極大値が現れたのち、およそ50秒後に2回目のピークが現われている。また、関東地方の記録では、P波の着震から最大加速度が現れるまでに120秒程度かかっている観測点が多い。さらに、長周期の地震動により、東北や関東地方ばかりでなく、大阪の超高層ビルでも大きく揺れている。

一方、これらの強震動により、建物の被害、天井の落下や空調・照明などの損傷等が生じた。また、今回の地震被害の特徴として、東京湾岸や利根川地域などでの広範囲での液状化に伴う被害が挙げられる。

この地震の地震動の特徴や被害を正確な把握し、さらに、それをもたらした原因の追及することは今後の超巨大地震に備える上で重要である。そこで、日本地震学会強震動委員会と大会・企画委員会の共同提案をうけて、本セッション「2011年東北地方太平洋沖地震の強震動と地震動災害」を開催することとなった。

本セッションでは、招待講演として、これらの地震の強震動の特徴のレビューと、被害の特徴についての報告をしてもらう予定である。

東方地方太平洋沖地震の強震動と地震動被害、またそれらの教訓について、幅広い議論をしていきたい。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地震動, 強震動, 地震動災害, 被害

Keywords: The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, strong ground motion, seismic disaster

東北地方太平洋沖地震の特徴 Characteristics of the 2011 Tohoku-Oki earthquake

青井 真^{1*}, 功刀 卓¹, 鈴木 亘¹, 森川 信之¹, 藤原 広行¹

AOI, Shin^{1*}, KUNUGI, Takashi¹, SUZUKI, Wataru¹, MORIKAWA, Nobuyuki¹, FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

東北地方太平洋沖地震は日本周辺で発生した地震としては有史以来最大規模のものであり、断層に沿って稠密な観測網により強震記録の得られた初めての M9 クラスの地震である。北海道から九州にいたる 1223 点の K-NET 及び KiK-net 観測点で地震動が記録され、特に岩手県から千葉県にかけての 20 観測点で 1 g を超える加速度が記録された。最も大きな最大加速度 (PGA) である 2933 gal (3 成分合成) が K-NET 築館で観測された。震度 7 を記録したのはこの観測点のみであるが、断層が極めて大きかったことを反映し、地震動が大きかった地域は広域にわたっている。震度 6 強を記録した地域は宮城、福島、茨城、栃木県にまたがる差し渡し約 300 km にも及び、震度 5 弱の揺れは東北地方及び関東地方の大部分を含む極めて広い地域で観測された。今回の地震における被害の直接的な原因の多くは津波であるが、強震動による被害も多く報告されている。一方で、純粹な揺れによる被害率という観点では過去の同程度の震度と比較して有意に低いとの調査結果が多い。PGA や震度が大きかった割に建物被害が少なかった理由として、周期 0.5 秒以下の短周期成分が卓越したために PGA や震度が大きくなったが、低層建築物に大きな被害を与える周期 1-2 秒の地震動がさほど大きくはなかったことが挙げられる。川瀬 (1998) が大破以上の被害が出る閾値として提案している PGA が 800 gal 以上かつ最大速度 (PGV) が 100 cm/s 以上を目安に今回の地震動を考えると、PGA がこれより大きかった地点は多いが、PGV に関しては K-NET 築館でわずかに 100 cm/s を超えたのみであり、1995 年兵庫県南部地震や 2004 年新潟県中越地震などの過去において大きな被害を生じた地点における地震動は全て PGA のみならず PGV も大きかったのとは対照的である。このように短周期が卓越したのは、薄く堆積した S 波速度が遅い表層によって短周期成分が選択的に大きく増幅したためであると考えられる。距離減衰式を用いて評価したサイト増幅特性 (森川・他, 2007) において周期 0.1-0.5 秒の増幅度が大きな観測点と観測された震度の相関が高い一方、それらの観測点の多くでは周期 1-2 秒の増幅率が特に系統的に大きいわけではない。地震動の大きさは、震源放射特性や断層距離にも大きく影響され、また地盤応答の非線形性の影響を受けるなど単純な線形増幅の仮定に基づく議論では不十分であることは明らかであるが、大きな震度が観測された主要因の一つは短周期成分の増幅特性であると考えられる。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 震度, PGA, PGV, K-NET, KiK-net

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, seismic intensity, PGA, PGV, K-NET, KiK-net

東京湾岸における 2011 年東北地方太平洋沖地震の長周期地震波の位相速度 Phase velocities of long period waves in the Tokyo bay area from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

植竹 富一^{1*}

UETAKE, Tomiichi^{1*}

¹ 東京電力株式会社

¹Tokyo Electric Power Company

地震波の伝播速度は、地震動特性の分析や地下構造モデルの検証にとって重要な情報である。東北地方太平洋沖地震の記録から長周期地震動の伝播速度を評価することは、南海トラフ巨大地震で首都圏に到来する長周期地震動に備えるためにも重要な情報になると考えられる。東京電力では、東京湾岸の火力発電所及び技術開発研究所の計 13 地点に広帯域速度型強震計 (VSE-355G3) を設置して、地震観測を実施している。2011 年東北地方太平洋沖地震では、東京湾岸のすべての地点で記録を取得する事が出来た。観測された速度波形を見ると、長周期 (周期約 20 秒) で大振幅のパルス波が北東方向から南西方向に伝播していることがわかる。このパルス波は、上下動で特に明瞭である。

川崎を中心に品川から横浜までの 6 地点の上下動記録 (記録長 300 秒) を対象に、周波数 - 波数スペクトル解析を行い、位相速度と伝播方向の推定を行った。周波数 0.04Hz では、位相速度 3.6km/s、0.05Hz で 4.0 km/s でほぼ震央方向 (N40E) から波が到来しており、波形から波群の立ち上がり評価した場合と対応している。0.06Hz から 0.17Hz までは分散性が見られ、周波数 0.06Hz で 4.3km/s、0.17Hz で 3.4km/s となっている。速度分散性と地下構造の関係を見るために、長周期地震動予測地図 2009 年試作版の地下構造モデルから川崎火力近傍の地下構造を抽出し、レーリー波の位相速度を計算した。観測記録から評価した位相速度は、基本モードの位相速度より速く、一次高調モードに近い値となっている。周波数 - 波数スペクトルの解析結果は、非定常な波動伝播の影響を受ける可能性もあることから、狭帯域フィルター波形を用いてセンブランス解析を行い、区間毎の位相速度も評価した。フィルターの中心周期は 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20 秒とし、周波数領域で、中心周波数の $\pm 20\%$ 幅のコサイン型のフィルターをかけた。解析区間長は 40 秒間とし、20 秒ずつずらして区間毎に位相速度を求めた。周期 12, 15, 20 秒の結果については、基本モードに対応する位相速度を示す解析区間も見られた。一方、周期 5, 6, 7, 8, 9, 10 秒については、一次高調モードと速度が一致する区間が得られている。なお、トランスパース成分を用いて同様に位相速度を求め、ラブ波の理論位相速度と比較したところ、周期 5~10 秒で一次高調モードとの対応の良い傾向が見られた。

以上の検討から、2011 年東北地方太平洋沖地震による東京湾岸の長周期地震動では、基本モードでなく高次モードが卓越した可能性が示唆される。基本モードが卓越した場合、振幅がより大きくなると考えられることから、さらなる検討が必要と考える。

キーワード: 位相速度, 長周期地震動, 東京湾岸, 東北地方太平洋沖地震, 周波数 - 波数スペクトル解析, センブランス解析
Keywords: Phase Velocity, Long-period Seismic Motion, The Tokyo Bay Area, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis, Semblance Analysis

異なる断層モデルに基づく等価震源距離を用いた2011年東北地震の最大値距離減衰特性について

Attenuation characteristics of peak motions during the 2011 Tohoku earthquake using EHD based on different fault models

司 宏俊^{1*}, 纈 纈 一起¹, 三宅 弘恵¹, Ibrahim Rami¹
SI, Hongjun^{1*}, KOKETSU, Kazuki¹, MIYAKE, Hiroe¹, IBRAHIM, Rami¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

The M_w 9.1 Tohoku earthquake, occurred on 2011 March 11, caused over 15,000 people dead and over 3300 people missing. The earthquake, ruptured all the segments from off-Iwate to off-Ibaraki along the Japanese trench, for a total distance of about 480 km (e.g., Yokota et al., 2011), with a moment magnitude of 9.0 - 9.1, is one of the largest mega-thrust earthquakes in the world.

During the earthquake, abundant strong motion datasets have been derived. These datasets indicated that the observed PGAs and PGVs are generally less than the predictions by the existing attenuation models using fault distance (e.g., Boore, 2011; Si et al., 2011). On the other hand, it is also indicated that, by using equivalent hypocentral distance (EHD), the observations are generally consistent the predictions by Si and Midorikawa (1999)(e.g., Kanda et al., 2011; Nishimura et al., 2011; and Ohno, 2011). Since arguments on the appropriateness of EHD as a distance measurement still remain (e.g., Fukushima, 1994), it is needed to confirm the calculated EHDs and their variation.

In this study, considering that the EHD generally depends on the fault model used in the calculation, the variation of EHDs and its impact on attenuation characteristics of PGA and PGV are discussed based on 3 typical slip models proposed for the Tohoku earthquake. The first two models are the models proposed by Yokota et al. (2011) based on the joint inversion of teleseismic, strong motion, geodetic and Tsunami datasets, and Shao et al. (2011) based on the inversion of teleseismic datasets, relatively. The two models are characterized by the location of most ruptured area, around (Yokota et al., 2011) or easterly (Shao et al. (2011)) of the hypocenter. The third model is a uniformly distributed slip model, in which the slips are normalized to unit slips.

Using the EHDs calculated by the 3 fault model, The attenuation characteristics of PGAs and PGVs observed are compared with those predicted by Si and Midorikawa (1999). The results indicated that, (1) there are difference between the results based on different slip models, and the fitting is generally better by using the model by Yokota et al.(2011); (2) for part of the stations around Kanto area there are large differences between EHDs calculated from the uniformly distributed slip model and the inverted ones, leading to the differences in the attenuation characteristics for PGAs and PGVs.

Acknowledgement The strong motion data recorded by K-NET and KiK-net are used in this study.

キーワード: 等価震源距離, 距離減衰特性, 2011年東北地震, 断層モデル

Keywords: Equivalent hypocentral distance, Attenuation characteristics, 2011 Tohoku earthquake, Fault model

東日本大震災において東京湾岸で発生した地盤の液状化 Soil liquefaction in Tokyo Bay area during the 2011 Great East Japan Earthquake

安田 進^{1*}
YASUDA, Susumu^{1*}

¹ 東京電機大学理工学部
¹Tokyo Denki University

2011年東日本大震災では東京湾岸で激しい液状化が発生した。地震後から約10日かけて著者達は液状化地点の調査を行い、暫定版の液状化発生地図を作成した。液状化による被害は甚大であったため、国土交通省関東地方整備局は地盤工学会に研究をし、共同で液状化地点の確定を行った。図1がこの結果作成されたもので、暫定の地図から少し修正してある。この地図に示されるように、新木場から浦安市、市川市、船橋市、習志野市、千葉市にかけて激しい液状化が発生した。この間に液状化した面積は約41 km²である。これは2011年ニュージーランド・クライストチャーチ地震で液状化した面積より広がった。これらの地区は1966年頃以降に海底の土砂を浚渫して埋め立てられた。その埋立土が液状化したと考えられる。

液状化した地区の震度は気象庁震度階で5弱から5強であり、地表最大加速度も160 to 230 cm/s²程度にもかわらず、地表は噴砂で覆われるまでの激しい液状化が発生した。住民からのヒアリングによると噴水が発生した時刻は場所によって異なっていた。これは液状化した深さや地下水位が場所によって異なったことを意味していると考えられる。また、一部の住民の方によると噴水は本震では発生せず、余震で発生したとのことである。したがって、本震の継続時間が長かったことや、29分後の余震の影響によって激しい液状化が生じたと言える。

液状化した地盤の特徴として、1) 多量の噴砂が生じ地盤の沈下量も大きかった、2) 歩道や小路で座屈のような突き上げが発生した、ということが上げられる。前者は液状化した砂が非常に細粒であったためにこのようになったと考えられる。後者は液状化した地盤の一種のスロッシングによって生じたのではないかと考えられる。下水道管は蛇行し、また、マンホールは水平方向にずれて液状化した砂が入り込むといった被害が発生したが、このような特異な被害もスロッシングによって発生したのではないかと考えられる。

東北から関東にかけて、約27,000軒の家屋が液状化により被災したが、そのうち、約半数は東京湾岸の液状化によるものであった。最も被災戸数が多い浦安市においては半壊以上の戸数が3,680戸に及んだ。これらの家屋は大きく沈下し、また、傾斜していた。

キーワード: 東日本大震災, 液状化, 埋立地, 戸建住宅, 下水管渠

Keywords: Great East Japan earthquake, Liquefaction, reclaimed land, house, sewerage pipe

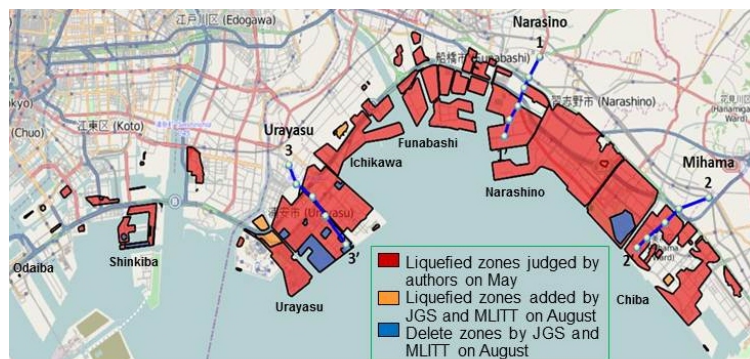


Figure 1 Liquefied area from Odaiba in Tokyo to Chiba City (Joint research by Kanto Regional Development Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and JGS)

表層地盤液状化被害の非一様性に及ぼす深部傾斜地層の影響 Non-uniformity of Surface Layer Liquefaction Damage Caused by Layered System Organization and Dip of Deeper Layer

浅岡 顕^{1*}, 野田 利弘², 中井 健太郎²
ASAOKA, Akira^{1*}, NODA, Toshihiro², Kentaro Nakai²

¹ (財)地震予知総合研究振興会, ²名古屋大学大学院
¹Association for the Development of Earthquake Prediction, ²Nagoya University

東北地方太平洋沖地震では、浦安市をはじめ、沿岸部埋立地盤において液状化現象が広範に発生した。その特徴として、(1)震源から約450km離れており、周辺のK-netなどの地表面観測記録では最大100~200gal程度にもかかわらず、比較的長周期の揺れが継続し、(2)細粒分を多く含む埋土層も含めて広範に液状化したこと、などが挙げられている。(2)については地震動が長く継続した点がよく指摘されている。著者らは、液状化被害が軽微であった陸側は沖積砂層直下の軟弱粘土層厚が10m程度と薄いのに対し、液状化被害が甚大であった海側へ向かうほど、軟弱粘土層厚(N値0)が厚くなっている地層構成に着目して、多層系地盤の一次元弾塑性地震応答解析の結果、地震動の継続時間の長さに加え、液状化層以深の軟弱粘土層の存在によって、地震波がやや長周期の範囲で増幅され、これによる大きな塑性ひずみによって、液状化しにくいclayey sandさえもが大きな被害を受けた可能性があることを示した。本稿では、さらに上記の粘土層とその下部に位置する洪積層との境界の傾斜に着目して二次元解析を実施し、この解析から、一次元解析では液状化しない場合でも、この傾斜境界の存在によって、地盤内に液状化が非一様に発生することを示す。なお、これらの解析は、砂から中間土、粘土までを同じ理論的枠組で記述する弾塑性構成式(SYSカムクレイモデル)を搭載した水~土骨格連成有限変形解析コードGEOASIAによる。

図1は、一次元地盤モデルの解析結果であり、解析対象地盤の地層構成と埋土層中央部における時間-過剰間隙水圧比関係を示す。ここでは入力地震動はAsaoka et al.(2011)と同じであるが、層序はより現実に即してモデル化し、埋土層(約0~-5m)と沖積砂層(-5m~-10m)の弾塑性材料定数は液状化しにくい値に変更して解析している。このため、埋土層では過剰間隙水圧比が0.8程度でとどまり、液状化には至っていない。図2は、二次元の解析結果であり、地震開始から150秒後(入力地震波の最大加速度時)のせん断ひずみ分布と、図中点Aで示した埋土層の時間-過剰間隙水圧比関係を示す。この図から、点A近傍で特に大きなひずみが発生し、過剰間隙水圧比が0.95を超えて液状化が発生している。これは、入力地震波が粘土層で増幅されることに加えて、沖積粘土層と洪積層の境界が傾斜しているためである。計算は、地震動のSV成分の発生とともに、洪積層での反射を伴う地震波の多次元的な伝播を示している、表層では点Aのほかにもあちこちで局所的に大きな塑性変形が発生している。

液状化被害の程度が空間的に非一様で、そのばらつきが大きいことも今回の震災の一つの特徴である。地盤材料の不均質性はよく指摘されるが、今回の解析結果は均質な地盤材料であっても層序の不均質性に起因する地盤変状のばらつきが大きいことを示した。これらは一次元解析では考慮しえない事項であり、多次元有効応力解析の必要性が強調される。

Asaoka, A., Noda, T. and Nakai, K. (2011): The effect of stratum organization on the occurrence of liquefaction in silty sand, 日本地震学会講演予稿集 2011 年度秋季大会, p.56.

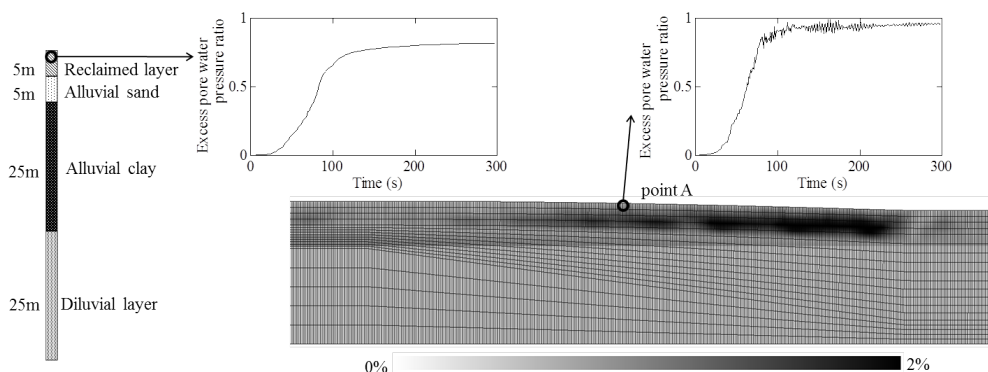


Fig.1: 1D analysis result of excess pore water pressure ratio at the center of the reclamation layer

Fig.2: 2D analysis result of shear strain distribution at 150s after earthquake and excess pore water pressure ratio at the center of the reclamation layer at point A

強震記録から推定された2011年東北地方太平洋沖地震群の曲面断層上での震源過程 Rupture processes of the 2011 Tohoku-Oki earthquake sequence on the curved fault derived from strong-motion records

鈴木 亘^{1*}, 青井 真¹, 関口 春子², 功刀 卓¹

SUZUKI, Wataru^{1*}, AOI, Shin¹, SEKIGUCHI, Haruko², KUNUGI, Takashi¹

¹ 防災科学技術研究所, ² 京都大学防災研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2011年東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震と呼ぶ)は、東北地方から関東地方にかけての広範囲にわたり非常に強い地震動をもたらした(青井・他, 2012, 地震第2輯)。われわれは強震記録を用いて東北沖地震の震源過程の推定を行い、地震波放射特性を検討してきた。解析に用いている強震記録の周波数帯域は被害に直接結びつく地震動の帯域より低い、推定されたすべり分布、すべり破壊の時間進展と地震波放射過程は東北沖地震の強震動生成を理解するために有用な知見となる。また東北沖地震の約30分後の3月11日15時15分に茨城県沖で発生したM7.6の最大余震は関東地方に再度強い揺れをもたらすなど、東北沖地震直後の余震群により断続的に強震動が続いた。本研究ではこれら東北沖地震群の震源過程をお互いに整合的な曲面断層モデルで解析することで、それぞれのすべり分布や時間進展を比較し地震波励起の関係について検討を図る。

曲面断層の表現とインバージョン手法は鈴木・他(2010, 地震学会)に基づいており、Nakajima and Hasegawa(2006, GRL)、Nakajima et al.(2009, JGR)、Kita et al.(2010, EPSL)をコンパイルした太平洋プレート上面形状データの北緯35.5度から40.5度程度の範囲について深さ8 kmから60 kmの形状をNURBS(スプライン関数の一種)により表現した。これにより東北沖地震本震、15時8分の岩手県沖の余震(M7.4)、15時15分の茨城県沖の最大余震(M7.6)の断層面を柔軟に構築することが可能となった。

本震についてK-NETおよびKiK-netによる0.01-0.125 Hz速度波形記録を用いて解析した結果では、宮城県はるか沖の破壊開始点より浅い領域に低周波数帯域に富む地震波を放射した大すべりが見られ、破壊開始点より陸側の領域で加速度波形に見られる2つの波群を生成した可能性のある2回の破壊が生じ、破壊開始から100秒後以降に福島県沖で関東地方に強い揺れをもたらした破壊が生じたという特徴が見られる。これは矩形断層を用いた結果と大局的には共通した特徴である。矩形断層は東北沖地震の震源域の平均的なプレート形状を模して、特に破壊開始点付近をよく近似しているが、プレート形状は沈み込みにつれ傾斜角が急となり、また走向も震源域南部および北端では矩形断層の走向とは異なる。このように形状に差異の見られる福島県沖での100秒後以降の破壊の規模は、曲面断層による結果の方が大きめに推定されている。

茨城県沖の最大余震について、南北およそ100 km東西およそ80 kmの範囲のプレート境界面を切り出し、0.01-0.25 Hzの強震記録を用いて震源過程を推定した。破壊開始点の水平位置は気象庁による震央位置とし、小断層は深さ2.5 kmごとに走向方向約10 kmの広がりを持つように分割した。すべりの大きい領域は破壊開始点よりも沖側に広がり、最大すべり7.5 mが破壊開始点の東南東約20 kmの領域に推定された。このすべり領域は2008年に発生したM7.0の地震の震央の南に広がる。破壊開始後約8秒間の破壊は顕著ではなく、8秒後から破壊開始点東方の大すべり領域の破壊が開始して、この領域の破壊は10秒以上継続した。その後の破壊は破壊開始点南部と陸よりの領域でも見られる。南部での目立った破壊は銚子沖で終了している。モーメントマグニチュードは7.9であり、Global CMTの推定値と同規模でF-netによる7.8より大きい。プレート境界モデルより10 km程度深い気象庁の破壊開始点深さと15度程度傾斜角が急なF-netの震源メカニズムから構築した矩形断層を用いた解析でも、破壊開始点より沖側にすべりの大きい領域が推定されている。ただし断層面形状以外はほぼ同じ解析条件であるが最大すべり量は13 m弱と大きく、すべり量などをより信頼性高く推定しスケーリングなどの議論に用いるためには、曲面断層により断層面形状をできるだけ正確にモデル化することが望ましいと考えられる。

強震動パルスの生成に着目した2011年東北地方太平洋沖地震の特性化震源モデル Construction of a source model for the 2011 Tohoku, Japan, earthquake with special reference to strong motion pulses

野津 厚^{1*}

NOZU, Atsushi^{1*}

¹ 港湾空港技術研究所

¹Port and Airport Research Institute

2011年東北地方太平洋沖地震は、今日のような密な強震観測網が構築されて以来、初めて発生したM9クラスの巨大地震である。今後、他の地域を対象として、同程度の規模の地震を想定した強震動評価を行う機会が増えるものと考えられるが、その際に用いられる震源のモデル化手法および強震波形計算手法は、今回の強震記録によって適用性が確認されたものでなければならない。その際、工学的観点からは、0.2-2Hz程度の強震動の再現性に特に注意を払う必要がある。著者は、この地震の発生以前の段階において、海溝型巨大地震による0.2-2Hz程度の帯域の強震動の予測に関して次のような提案を行っていた（例えば野津，2010）。

1) 震源モデルとしては、海溝型地震の震源近傍で実測されるパルスの幅と調和的な（小さめの）アスペリティの組み合わせからなる震源モデルを用いること。

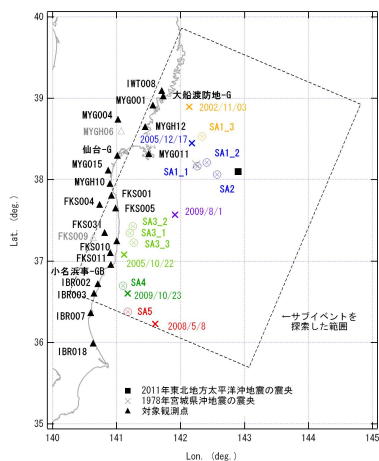
2) 波形の計算には経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法（古和田他，1998；野津他，2009）を用いること。

これらのスキームがM8クラスの地震に対して有効であることについては既往の研究で確認を行っている。しかしながら、同様のスキームがM9クラスの地震に対しても適用可能であるかについてはこれまで確認されていない。そこで、本研究では、このスキームのM9クラスの地震に対する適用性を調べることを目的とし、東北地方太平洋沖地震を対象として、実際に小さめのアスペリティの組み合わせからなる震源モデルを新たに作成し、それによる強震動シミュレーションを実施した。その結果、宮城県沖から茨城県沖にかけて、一辺が数km程度の9つの小さめのアスペリティを配した震源モデルを用いれば、各地で実際に観測された強震動、特に、工学上重要性の高い0.2-2Hzの帯域の速度波形（パルス状のものを含む）を精度良く再現できることがわかった。

本研究で用いた小さめのアスペリティは、松島・川瀬（2006）が提唱したスーパーアスペリティに対応するものであるとされる。しかしながら、アスペリティという用語の用法そのものが現時点では流動的であり、terminologyについてはさらなる工夫が必要である。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 強震動, 強震動パルス, 震源モデル, スーパーアスペリティ

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, strong ground motion, strong motion pulse, source model, super asperity



2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルのポストディクション Postdiction of Source Model for the 2011 Tohoku Earthquake

三宅 弘恵^{1*}, 纈織 一起¹

MIYAKE, Hiroe^{1*}, KOKETSU, Kazuki¹

¹ 東大地震研

¹ Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

これまで、過去の地震について強震動評価を行い、強震動予測手法の適用可能性を確認し、将来の地震について強震動予測を行う研究が多数なされている。本発表では、地震後に、地震前の知見を利用して強震動予測を行う方法をポストディクション (postdiction = prediction after the fact) と定義し、2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデルがどの程度、事後予測可能であったのかを検討する。また、経験的グリーン関数法等を用いて、観測波形に対するポストディクションを行う。

<地震前に設定可能と仮定するパラメータ>

断層面は、南海トラフ等に倣い、長期評価されている複数のセグメントである、宮城県沖・三陸沖南部海溝寄り・福島県沖・茨城県沖がプレート境界の逆断層地震として同時破壊すると仮定する。三陸沖中部は非地震性すべり域として、三陸沖北部から房総沖の海溝寄りは津波地震あるいは正断層型の領域と考え、断層面を設定しない。この場合、想定される断層面積は約 35,000 km² となり、Murotani et al. (2008) および佐藤 (1989) のプレート境界地震のスケール則に従うと、地震規模は Mw 8.3 および 8.5 となる。すなわち、869年貞観地震の地震規模に留まり、東北地方太平洋沖地震の地震規模には達しない。

特性化震源モデルの設定は、強震動予測レシピに準拠するが、Miyake and Koketsu (2010) による二段階コーナー震源スペクトルモデルを導入する。これは、1978年宮城県沖地震や2003年十勝沖地震などのプレート境界地震において、アスペリティ面積と強震動生成域に乖離を解消するため、アスペリティの半分の面積と倍の応力降下量を強震動生成域に与え、短周期レベルを上げる方法である。アスペリティ総面積は、Murotani et al. (2008) に従い、断層面積の20%とする。アスペリティは、長期評価されている各セグメントに原則1つ、過去の地震のアスペリティ位置に配置する。強震動生成域は、断層面積の10%を占めるものとし、その応力降下量は Murotani et al. (2008) の場合は 14 MPa、佐藤 (1989) の場合は 30 MPa となる。

破壊開始点は、太平洋プレート境界で発生する地震では、海溝側から陸側へ破壊が進行するケースが多いため、その事例を踏襲して宮城県沖海溝寄りの中央東端に設定する。また、断層面における破壊進行方向は震源から同心円上とし、各アスペリティおよび強震動生成域における破壊はマルチハイポセンターを適用する。

<地震前に設定困難と仮定するパラメータ>

東北地方太平洋沖地震では、主に長周期成分を生成するアスペリティ領域と、主に短周期成分を生成する強震動生成域の場所や面積が大きく異なる結果もある。本設定においては、強震動生成域はアスペリティの半分の面積を有するが、場所は重なる(内包される)と仮定する。また、東北地方太平洋沖地震に見られたような、同じ場所における複数回のすべりや、破壊進行方向の逆転は考慮できない。

<問題点>

地震前の知見に基づくと、東北地方太平洋沖地震の震源モデルは貞観地震の地震規模に留まる可能性がある。仮に、M9クラスの地震規模を想定する場合、プレート境界地震のスケール則に依っては、三陸沖北部から房総沖に至る全領域を海溝寄りも含めて断層面と仮定する必要があるが、東北地方に収まらない。また、地震前の知見からこのような断層面の設定を行うことは極めて難しい。結果として、東北地方太平洋沖地震の断層面積は、Murotani et al. (2008) のスケール則の標準偏差分の1に概ね相当していることから、超巨大地震を含む海溝型地震の予測においては、地震規模を先に与えてから断層面積を設定し、断層面積のばらつきを導入する方法が提案される。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 震源モデル, スケール則, 評価, 予測, ポストディクション

Keywords: Tohoku earthquake, source model, scaling, validation, prediction, postdiction

GPU 計算による 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震動大規模シミュレーション GPU-accelerated large-scale simulation of seismic wave propagation from the 2011 Tohoku-Oki earthquake

岡元 太郎^{1*}, 竹中 博士², 中村 武史³, 青木 尊之¹

OKAMOTO, Taro^{1*}, TAKENAKA, Hiroshi², NAKAMURA, Takeshi³, Takayuki Aoki¹

¹ 東京工業大学, ² 九州大学, ³ 海洋研究開発機構

¹Tokyo Institute of Technology, ²Kyushu University, ³JAMSTEC

The Tohoku-Oki earthquake on March 11, 2011 (MJMA 9.0) generated strong shaking reaching the maximum intensity (seven) on the JMA's scale and caused devastating tsunamis with run-up heights exceeding 30 m. Such mega-thrust earthquake was not expected to occur along the plate interface off the northeastern Japan. Thus it is very important to study this event for understanding the geophysical condition of the generation of mega-thrust earthquake, the characteristics of the induced strong ground motions, and the mechanism of the excitation of the large tsunamis.

The ground motion records of this event are quite important data for the quantitative studies on the earthquake source and the induced damages. However, modeling of the ground motions is not a simple task because of the strong lateral heterogeneity in and around the Japan trench: all of steeply varying topography, oceanic water layer, thick sediments, crust with varying thickness and subducting oceanic plate can affect the seismic waves radiated from suboceanic earthquakes [1,2]. Thus the structural model is an important factor in the study of waveform modeling.

The modeling of the ground motion induced by this event is a computational challenge: large memory size and fast computing devices are required because the huge fault size of the earthquake (about 500 km x 200 km) imposes a very large domain size for the simulation. For example, for a finite-difference domain of 960 km long, 480 km wide and 240 km deep and for a grid spacing of 0.15 km, a quite large grid size of 6400 x 200 x 1600 or 33 billion of grid points are necessary.

Therefore, we need to develop numerical methods that can precisely incorporate the effects of the heterogeneous structure including the land-ocean topography. Further, we need to confirm the feasibility of the methods in the case of large-scale problem: the computation must be done within a tolerable time.

Thus, in this paper we use a 3-D finite-difference time domain (FDTD) method [3,4]. In the method we implement the schemes to incorporate the land and ocean-bottom topography, oceanic layer and other lateral heterogeneity. In order to simulate the wave propagation with a large grid size, we adopt the GPU (graphics processing unit) computing to our finite-difference program. We use the TSUBAME supercomputer in Tokyo Institute of Technology which has a peak performance of 2.4 peta-flops. Currently, we have succeeded to simulate the wavefield from the whole fault of 2011 Tohoku-Oki earthquake by using 1000 GPUs of the TSUBAME supercomputer with 33 billion of grid points and a grid spacing of 0.15 km. We present the results of the simulation of the wave propagation based on a preliminary source model of the 2011 Tohoku-Oki earthquake.

[1] Okamoto, Earth Planets Space, 54, 715-720, 2002.

[2] Nakamura et al., submitted paper.

[3] Okamoto et al. Earth Planets Space, 62, 939-942, 2010.

[4] Okamoto et al., in GPU Solutions to Multi-scale Problems in Science and Engineering, Yuen, D. et al. (Eds.), 250 p., Springer, due February 29, 2012. (ISBN 978-3-642-16404-0)

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, strong ground motion, finite-difference, FDTD, multi-GPU

2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の長周期地震動シミュレーション Long Period Ground Motion Simulation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (Mw9.0)

川辺 秀憲^{1*}, 釜江 克宏¹, 上林 宏敏¹

KAWABE, Hidenori^{1*}, KAMAE, Katuhiro¹, UEBAYASHI, Hirotohi¹

¹ 京都大学 原子炉実験所

¹RRI, Kyoto University

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方の宮城県沖で Mw9.0 の巨大な海溝型地震である 2011 年東北地方太平洋沖地震が発生し、東北地方から関東地方の広い範囲で強い地震動により多くの被害が発生した。また、巨大な津波により東日本の太平洋沿岸部に激甚な被害をもたらされた。一方、今回の東北地方太平洋沖地震では、地震の規模を考えると超高層ビルに影響を及ぼす周期帯の長周期地震動は比較的小さかった。しかし、超高層ビルにおいて天井の落下、内装材、エレベータなどの被害が発生しておりなど、今後の巨大地震の長周期地震動に対する対策を検討するうえでも、今回の地震の長周期地震動の増幅や減衰等の伝播特性を把握しておく必要がある。そこで本稿では、周期 3~10 秒の長周期地震動を対象とした地震動シミュレーションを行い、現在提案されている震源及び地下構造モデルを用いることにより、どの程度、東北地方太平洋沖地震の地震動を再現できるかを検証する。

2. 地震動シミュレーションの概要

ここでは、経験的グリーン関数法を用いたフォワードモデリングによって求めた震源モデル (川辺・他、2011) を用いる。このモデルは周期 0.1~10 秒の地震動を対象として求めたモデルであり、宮城県沖、岩手県南部沖、福島県沖、茨城県沖の 5 カ所に強震動生成領域 (SMGA) を配置した震源モデルとなっている。

地下構造モデルは、地震調査研究推進本部の「長周期地震動予測地図」2009年試作版 11) で宮城県沖地震の長周期地震動予測に使用され、そのホームページでデータが公開されているモデル (以下、推本モデルと呼ぶ) を用いた。

地震動の計算は、スタagger グリッドを用いた空間 4 次・時間 2 次の精度の 3 次元差分法 (Pitarka, 1999) により実施した。差分法解析対象領域は東西 412km、南北 471km の領域とし、深さ方向は 100km までを対象とした。差分格子の間隔は水平方向 0.3km、鉛直方向 0.1~0.6km とした。地下構造モデルの物性値、差分格子の間隔及び震源モデルの有効周期から、本シミュレーションの有効周期は周期 3~10 秒である。

3. 結果

図 1 に観測波形と計算波形の比較を示す。全体的に見ると、関東平野の北側から平野に入射し、平野内で地震動の継続時間が伸びるといった現象は再現できている。詳細に見てみると、宮城県 (MYGH12) から茨城県 (IBR016) までは、主要動の振幅や特徴的な波群を再現できているが、計算波形の後続波の振幅は観測波より若干小さくなっている。関東平野内 (埼玉県の SIT010 から南側) の観測点では、主要動部分については、計算波形の NS 成分はどの観測点でも過大評価となっているが、EW 成分や UD 成分の振幅は観測とよく対応している。特に UD 成分については、振幅だけでなく計算波形の位相も観測波形を比較的良好に再現できている。また、関東平野内の観測点では、後続波の振幅が観測より小さくなっている。後続波の振幅が小さくなった原因として、今回用いた震源モデルは SMGA のみをモデル化し、それ以外の場所からは地震動を放出しないモデルであったこと、堆積盆地の減衰定数の設定が不適切であることなどが考えられる。この点については今後検討していく予定である。

謝辞

本研究では防災科学技術研究所による KiK-net 及び K-NET の地震観測記録並びに気象庁の震源データを使用させて頂きました。記して感謝の意を表します。

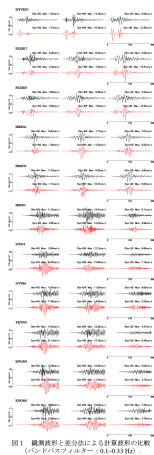
キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 強震動, 震源モデル, 強震動生成領域, 差分法

Keywords: 2011 Tohoku-Chiho Taiheiyō-Oki Earthquake, strong ground motion, source model, strong motion generation area, finite difference method

SSS37-11

会場:303

時間:5月21日 11:45-12:00



地震動特性と建物被害に着目した2011年東北地方太平洋沖地震の教訓 Lessons of the 2011 Tohoku earthquake Focused on Characteristics of Ground Motions and Building Damage

源 栄 正 人^{1*}

MOTOSAKA, Masato^{1*}

¹ 東北大学大学院工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Tohoku University

The author addresses firstly the observed high acceleration records with PGA of 2,700 cm/s/s and the corresponding JMA seismic intensity 7 at the K-NET Tsukidate station during the 2011 Tohoku Earthquake (M9.0). Structural damage was quite light in the surrounding area. The relation between high acceleration record and building damage is discussed by referring to the questionnaire intensity by authors and by mentioning unfavorable behavior with partial uplifting and slipping of the foundation of the seismometer based on the non-stationary spectral analysis and particle orbit analysis.

Many long-duration records observed during the earthquake, especially in geological basin, are also discussed. A base-isolation device with lead damper of a building in Osaki city was damaged. Many numbers of displacement cycles may affect on the damage of the seismic elements of structures due to ground motion with long duration.

Next, ground motion characteristics during the 2011 Tohoku earthquake are compared to those during the 1978 Miyagi-ken Oki earthquake (M7.4) at the same observation site. The author addresses observation records at basement floor of Sumitomo building near Sendai station, which is recognized as engineering bedrock motion. The comparison shows that the ground motion during the 2011 earthquake is larger in PGA and response spectra than 1978 earthquake, but the amount of structural damage is smaller in 2011 earthquake due to progress of seismic design and seismic retrofits. Difference of ground motion due to geological conditions is also discussed based on strong motion networks including the authors' DCRC network.

Regarding specific building damage of 8- and 9-story buildings at Aobayama campus of Tohoku University, ground motion amplification in the site was discussed based on the observation records at a 9 story SRC building of Departments of Civil Engineering and Architecture (THU building). During the 2011 earthquake, THU building was resonantly shaken and damaged (Photo 1) by the amplified ground motion compared to more than two times at the period range of 1sec compared to Sumitomo station, which is one of major reasons of the structural damage (Fig.1). The amplification was also recognized during the 1978 earthquake. Dynamic behavior of the damaged THU building due to the amplified ground motion is also discussed.

As other specific building damage, the two pile foundation buildings which were damaged during the 1978 earthquake comparatively discussed. An example of the pile foundation damage of the building constructed after the Japanese Building Code issued in 1981 is addressed. As damage of non-structural elements, the tremendous number of ceiling board dropped during the main shock and the major aftershock. Some of them caused killed persons for the first time. The 400 valley-filled housing lands' failures were caused in Sendai City. These damages are strongly related to the long duration ground motion.

Finally, the following learning and lessons from the 2011 earthquake are addressed for stronger earthquake countermeasures of urban and building structures: 1) Necessity of the seismic microzoning considering ground motion difference due to geological conditions, 2) Necessity of appropriate seismic indices corresponding to objective building damage, 3) Reconsideration of the setting place / setting method of the seismometer, 4) Necessity to evaluate the safety of structural elements for number of displacement cycles due to the long-duration earthquake and repetition by many aftershocks, 5) Consideration of non-stationary of ground motion the nonlinearity of the building for the huge earthquake, 6) Total balance of structural element, non-structural elements, and equipments, and also balance of foundation and superstructure for synthetic seismic performance of the whole building, 7) Evaluation of residue performance of the buildings damaged by past earthquakes and this earthquake.

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 地震動特性, サイト増幅特性, 建物被害, 共振, 長い継続時間

Keywords: 2011 Tohoku earthquake, ground motion characteristics, site amplification characteristics, building damage, resonance, long duration

SSS37-12

会場:303

時間:5月21日 13:45-14:03

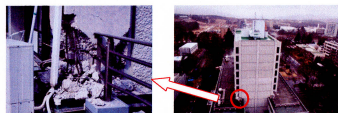


Photo 1 One of damaged four corner columns of THU building

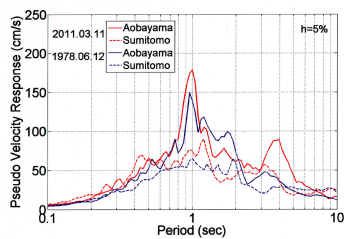


Fig.1 Site specific spectral ground motion amplification in Aobayama hill, Sendai

2011年東北地方太平洋沖地震による新宿・超高層建築の揺れと被害 Response and Damage of High-Rise Buildings in the Nishi-Shinjuku Area, Tokyo, Japan, during the 2011 Tohoku Earthquake

久田 嘉章^{1*}, 山下哲郎¹, 村上正浩¹, 久保智弘¹, 新田龍宏¹, 新藤 淳², 相澤幸治³

HISADA, Yoshiaki^{1*}, Tetsuo Yamashita¹, MURAKAMI, Masahiro¹, KUBO, Tomohiro¹, Tatsuhiro Arata¹, Jun Shindo², Koji Aizawa³

¹ 工学院大学, ²NKSJ リスクマネジメント株式会社, ³ 気象庁

¹Kogakuin University, ²NKSJ Risk Management, Inc., ³Japan Meteorological Agency

昨年度の報告(久保ほか、2011)に続き、2011年東北地方太平洋沖地震による新宿駅西口地域での超高層建築の揺れと被害に関して、工学院大学新宿校舎と隣接するSTEC情報ビルの強震観測データ、および周辺の超高層建築を含めたヒアリング調査結果などをもとに報告する。

工学院大学新宿校舎は1989年竣工の29階、STEC情報ビルは28階建ての鉄骨造建築であり、双方・2成分とも固有周期は1次モードが約3秒、2次モードが約1秒である。両建物では地下100mから屋上階まで約8階ごとに強震観測を実施している。Table 1とFigure 1に2011年東北地方太平洋沖地震における最大加速度・変位・計測震度の値を示す(周期5秒以上をカット)。1階では最大加速度、変位、計測震度がそれぞれ約100 gal, 7 cm、震度4程度が、屋上階では約300 gal, 35 cm(1階に対する相対変位は約30 cm)、震度6弱まで増幅した。1階の5%速度応答スペクトルは1秒から5秒まで約0.3 m/s程度のほぼフラットな振幅特性を示しており、高さ方向の最大振幅値の分布も加速度や計測震度では中間階でも大きな値となっており、2次モードの影響がみられる。一方、これまで地震や余震を含めて、固有周期と建物の振幅との関係を調べると、本震の後では前よりも5%程度の固有周期の低下が見られた。また振幅が大きくなると固有周期も増大する、振幅依存性が再確認された。これは間仕切り壁やカーテンウォールなどの非構造部材やその接合部の剛性低下が大きく影響していると考えられる。一方、建物の被害に関して、工学院大学では天井の落下(28, 27, 21, 14階)、天井のたわみ(28, 26, 23, 20, 19, 16, 14階)、非固定の本棚転倒と間仕切り壁の変形(24階)、非固定のテレビ・他の転倒(28, 16階)など中層階以上で非構造部材の損傷があった。一方、中層棟建物とのエキスパンションジョイントカバーの破損や、非常用エレベータではロープが絡まり、器具の破損により3週間程度停止してしまった。さらに工学院大学ではアンケート震度調査(太田ほか、1998)をもとに、項目をオフィスビルに調整して実施している。住宅やマンションと比べ、殆どの什器類は固定しており、全体として室内被害は大きくはなく、計測震度と比べてアンケート震度はやや小さめの値となった。一方、他の新宿駅西口地域での超高層建築の強震観測記録や被害・初動対応に関して、アンケート調査も実施している(新藤ほか、2011; Hisada et al., 2012)。工学院大と同規模のビルではほぼ同程度の揺れを示し、より高層の建物である都庁第一本庁舎(48階建て)や新宿センタービル(54階建て)では、最大相対変位50~70 cm程度の値が報告されている。被害状況は工学院大学とほぼ同様であり、構造的な被害はなく、非構造・什器類の被害であり、中層階以上で一部であるが天井や石膏ボードの落下、スプリンクラーの破損と漏水、エレベータの非常停止と閉じ込め事故なども生じている。その他詳細な内容は当日報告する。

謝辞: 本研究は工学院大学・総合研究所・都市減災研究センターと新宿駅周辺防災対策協議会との連携のもとに行われています。

参考文献:

久保ほか(2011)、超高層ビルにおける緊急地震速報とオンサイト情報の利活用について、日本地球惑星科学連合2011年大会

久保ほか(2011)、2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査、その1)工学院大学新宿校舎における揺れとアンケート震度調査、2011年日本地震工学会・大会

新藤ほか(2011)、2011年東日本大震災における新宿駅西口・超高層建物のアンケート調査、(その2)事業者を対象とした被害と初動対応に関するアンケート調査、2011年日本地震工学会・大会

Hisada et al. (2012), SEISMIC RESPONSE AND DAMAGE OF HIGH-RISE BUILDINGS IN TOKYO, JAPAN, DURING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE, One Year after 2011 Great East Japan Earthquake - International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake -

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 長周期地震動, 超高層建築, 数値解析, 被構造部材, 初動対応

Keywords: 2011 Great East Japan earthquake, Long-Period Strong Ground Motion, High-Rise Building, Numerical Analysis, Non Structural Elements, Emergency Response

SSS37-13

会場:303

時間:5月21日 14:03-14:18

Table 1 Max. amplitudes of of the Kogakuin and STEC buildings during 2011 East Japan earthquake
 (a) Kogakuin University Building (b) STEC Office Building

Floor		29	25	22	16	8	1	BBF-100m
Relative Displacement to 1F (cm)	EW	30.5	28.7	24.8	-	-	0.0	
	NS1	33.7	28.0	25.9	16.9	-	0.0	
Absolute Displacement (cm)	EW	30.6	28.1	25.1	-	-	5.7	6.5 5.8
	NS1	34.7	29.8	26.9	17.8	-	6.2	7.1 6.3
Acceleration (cm/s/s)	EW	234.6	134.7	151.7	-	-	187.1	81.9 63.3 49.9
	NS1	231.6	151.4	153.4	237.4	-	186.2	87.8 66.8 49.5
JMA Intensity	EW	5.9	5.2	5.1	-	-	4.5	4.4 4.1
	NS1	6.0	5.4	5.3	6.1	-	4.6	4.5 4.2

Floor		28	22	15	8	1	BBF
Relative Displacement to 1F (cm)	EW	32.7	27.3	18.8	7.8	0.0	
	NS1	29.7	23.5	15.2	7.0	0.0	
Absolute Displacement (cm)	EW	34.4	28.9	20.5	9.9	-	
	NS1	29.0	23.2	15.8	8.3	-	
Acceleration (cm/s/s)	EW	161.0	124.7	152.2	154.7	-	
	NS1	248.9	175.3	245.0	180.0	-	
JMA Intensity	EW	5.6	4.9	5.5	5.3	4.6	
	NS1	5.6	4.9	5.5	5.3	4.6	

Note: NS1=West Side, NS2=East Side
 The JMA intensities of the shaded cells are calculated using the two horizontal components

Note: NS1=East Side, NS2=West Side

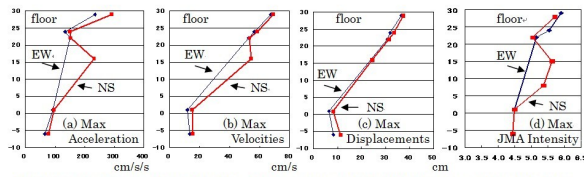


Fig.1 Maximum Accelerations, Velocities, Displacements, and the JMA Intensities of Kogakuin Univ.

巨大地震における余震ハザードの定量化に関する基礎的研究 Fundamental analysis on quantification of aftershock ground motion hazard

廣瀬 満仁^{1*}, 糸井達哉¹, 高田毅士¹
HIROSE, Mitsuhiro^{1*}, Tatsuya Itoi¹, Tsuyoshi Takada¹

¹ 東大・工・建築

¹Dept.of Architecture, Univ. of Tokyo

近年発生した巨大地震では、本震による被害に加えて、余震の脅威を表す事例も多く発生している。クライストチャーチ地震(2011年)、トルコ東部ワン地震(2011年)では余震により建物が倒壊し多くの死傷者が出た。新潟県中越地震(2004年)など近年の地震被害では余震が企業の事業継続計画へ及ぼす影響が問題となった。東北地方太平洋沖地震(2011年)では余震による構造物被害の事例は少ないものの、土砂崩れ、津波、停電、鉄道や高速道路の通行止め、火災等、余震の影響は広範囲に渡っている。意思決定の面でも、避難所の使用妥当性、事業継続性、復興作業開始時期などについては余震ハザードを考慮に入れた合理的判断が求められる。余震ハザードを定量的に扱うことができれば、緊急時の対策立案や復旧活動の意思決定に対する議論の合意形成に役立てることができ、近い将来の発生が予想されている東海・東南海・南海連動型地震に対しても有用な知見となることが期待できる。

そこで本研究では東北地方太平洋沖地震の余震記録を解析することで、1). 余震の地震動強さ(ここでは最大速度)の確率論的モデル化と2). そのパラメータの評価手法に関する考察を行い、確率論的余震ハザードの定量化に関する基礎的検討を行う。2011年3月11日から142日間の、岩手県、宮城県、福島県内の防災科学技術研究所強震観測網(K-NET)計62地点における観測記録を対象として、地震動強さを表す指標として最大速度(PGV)に着目している。確率紙へのプロット、統計的適合度検定から、本研究においては余震による地震動強さ分布を極値II型分布(Frechet分布)でモデル化することを試みる。更に、観測された本震最大速度と余震の確率分布の関係を調べ、モデル化した確率分布のパラメータを本震の観測記録を用いて推定する手法を構築する。本手法を用いることにより、本震発生直後の余震ハザード評価が可能になると考えられる。

また、本研究は5ヶ月間の余震ハザードに基づいており、余震発生数の時間変化を考慮できていないが、改良大森式等を用いた時間の概念の組み込みが今後の課題である。また、工学的な応用のため、応答スペクトルなど他の地震動指標について解析を行い、余震の周期特性の分析を行うことも予定している。今後、他の巨大地震についても余震の解析を行い、同様の結果が得られるかを確認する予定である。

キーワード: 地震ハザード, 余震, 確率論的手法, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: seismic hazard analysis, aftershock, probabilistic method, the 2011 Tohoku earthquake

南海トラフの海溝型巨大地震による長周期地震動シミュレーション Long-period ground motion simulation of great Nankai Trough, Japan, earthquakes

前田 宜浩^{1*}, 森川 信之¹, 青井 真¹, 藤原 広行¹

MAEDA, Takahiro^{1*}, MORIKAWA, Nobuyuki¹, AOI, Shin¹, FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ NIED

2011年東北地方太平洋沖地震でも明らかのように、海溝型巨大地震の震源モデルを事前に予測することは極めて困難である。したがって、海溝型巨大地震による長周期地震動予測では、限られた少数の震源モデルを対象とするのではなく、震源モデルの不確実性を考慮して多数のシナリオに基づいた地震動計算を行い、各シナリオによる長周期地震動の予測に加え、それらのばらつきを定量的に評価することが重要だと考えられる。海溝型巨大地震の震源モデルの不確実性については、東北地方太平洋沖地震から得られた知見を活用することができる。特に長周期地震動を対象とする場合には、海溝沿いのすべりの大きな領域の影響を評価しておく必要がある。本研究では、南海トラフで発生すると考えられているM8~9程度の海溝型地震を対象とした地震動シミュレーションを行い、震源モデルの違いが地震動予測結果に与える影響について検討した。なお、本検討では現状の海溝型地震のレシピに従って作成した特性化震源モデルに基づいて地震動を計算しているため、おおよその振幅レベルの把握と震源モデル間の相対的な比較を行うこととした。また、地震動計算には、GMS (Ground Motion Simulator) を用いた。

まず、東北地方太平洋沖型の地震を対象とした予備解析を行った。地震動計算に用いる特性化震源モデルは、震源域、破壊開始点、海溝沿いの領域については2011年東北地方太平洋沖地震を参照し、その他のアスぺリティ等については「レシピ」に従って機械的に設定して求めた。この震源モデルは実際の震源過程を忠実に再現したものではないため、計算結果が観測記録に比べて過大評価となる地域や過小評価となる地域がみられたものの、大局的には観測記録の地震動レベルと整合する結果が得られた。

次に、南海トラフの地震を対象とした解析を行った。震源モデルについては、震源域の拡がり(単独型・連動型)、アスぺリティや海溝(トラフ)沿いのすべりの大きな領域の位置、破壊開始点の位置について複数のケースを設定し、さらに、すべり量(カスケードモデル・スケーリングモデル)や震源時間関数の形状を変えた複数のモデルを作成した。これらの震源モデルに対して地震動計算を行い、震源モデルの違いが長周期地震動にどのような影響を与えるかについて調べた。最大地動速度の空間分布に対しては、破壊開始点の位置による影響が強く現れていた。また、連動型であってもカスケードモデルを適用した場合には、単独型の地震動分布を重ね合わせた分布となるのに対し、スケーリングモデルを適用した場合には全体的に振幅レベルが増大していた。トラフ沿いの領域については、すべりの大きな領域との位置関係によって、特に強い影響を受ける地域が見られた。ただし、今回の検討で対象としている周期帯(やや長周期帯)の地震動に対しては、震源時間関数の違いによる影響が大きく、特に海溝沿いの領域に対してどのような震源時間関数を設定するかは、今後の重要な課題である。

本研究は、「長周期地震動予測地図作成等支援事業」によった。

キーワード: 南海トラフ, 長周期地震動, 差分法, 不確実性, GMS

Keywords: Nankai trough, long-period ground motion, finite difference method, uncertainty, GMS

東北地方太平洋沖地震を踏まえた、南海トラフ地震の時間差連動による長周期地震動の再評価

Re evaluation of the elongation of the long period ground motion due to Nankai Trough earthquake which occurs by linkage

古村 孝志^{1*}, 前田 拓人¹

FURUMURA, Takashi^{1*}, MAEDA, Takuto¹

¹ 東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター / 地震研究所

¹ CIDIR/ERI Univ. Tokyo

<はじめに>

東北地方太平洋沖地震で観測された長周期地震動の特性と、過去の昭和東南海・南海地震の強震観測記録を比較から、想定される東海・東南海・南海地震の連動とその時間差発生（時間差連動）を考えた地震動シミュレーションに基づき、想定される南海トラフ巨大地震の長周期地震動の評価を行った。

<東北地方太平洋沖地震と長周期地震動の生成>

東北地方太平洋沖地震では、M9地震の500km×200kmにもわたる広大な震源域が、3分近い時間をかけて大きくズレ動いたことに加え、海溝寄りの浅部プレート境界において50mを超える大きなズレ動きが発生した特徴がある。こうした巨大地震の複雑な断層運動により放射された地震動は、短周期～長周期の広い帯域で大きなエネルギーを持ち、かつ揺れの継続時間が非常に長かった。観測された高周波の強震波形記録には、少なくとも3つの強い波群が認めらる。特に震源インバージョンからは宮城県沖の2カ所がそれぞれ1分程度の時間差で大きくズレ動き、複雑で継続時間の長い地震動が強く放射されたことがわかる。

都心で観測された長周期地震動の速度応答スペクトルは、固有周期0.5～40秒の範囲で40cm/sの平坦な応答（減衰=5%の場合）を示しており、これまでの大地震で繰り返し観測された、関東平野での周期6～10秒の強い応答ピークは見られなかった。また、最大速度応答も、過去に発生した2004年新潟県中越地震（M6.8）、2004年紀伊半島南東沖の地震（M7.4）、および2007年新潟県中越沖地震（M6.8）のせいぜい1.2～1.5倍程度であった。しかしながら、東北地方太平洋沖地震による長周期地震動の揺れはこれまでのM7クラスの地震のものよりずっと長く、最大速度20cm/sの揺れが、1/10（2cm/s）に弱まるまでに10分以上の時間がかかっていた。

<南海トラフ地震の長周期地震動生成条件>

これまでの強震観測から、関東平野で生成する長周期地震動は、能登半島や東北の地震では小さく南海トラフの地震や中越地方の内陸地震では大きいことが指摘されており（たとえば、早川、2008）、その原因として、南海トラフの沈み込み帯構造と表面波（長周期地震動）の生成過程の特徴が議論されている。南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの上面には、地震波速度の遅い付加体が数kmの厚さで覆っており、周期数秒以上の長周期の表面波が強く増幅されるほか、生成した表面波がトラフ軸に沿って関東平野に誘導される過程が、強震観測データで認められ、そして地震波伝播シミュレーションで検証されている（たとえば、Ikegami and Koketsu, 2008; Furumura et al., 2008）。いっぽう、東北地方沖の日本海溝では、太平洋プレートが堆積物を巻き込むように急角に沈み込んでおり、南海トラフに見られるような付加体は発達していない。また、海溝付近の堆積物も陸からずっと離れた位置にあり、北海道～東北～関東に向かう表面波を増幅・誘導する効果は小さいと考えられる。

<南海トラフ地震の時間差連動による長周期地震動>

南海トラフでは、近年の地震発生履歴や南海トラフの沈み込み帯構造の水平変動から、東海、東南海、南海地震の3つの地震セグメントを分けて活動を議論することが多い。南海トラフ地震の連動発生の影響評価では、3つの地震セグメントが同時にズレ動く場合に加え、数分から数十分の時間差で順番にズレ動く時間差連動についても検討が必要であろう。

特に、名古屋や大阪など、3つの地震セグメントからほぼ等しい距離にある平野では、時間差連動による2・3回の大揺れと、強い揺れの継続時間が2～3倍長くなる危険性がある。3つの地震セグメント個々をズレ動かした長周期地震動シミュレーション結果は、3つの長周期地震動の震幅はほぼ等しく（40cm/s程度）、また継続時間（ここでは、最大震幅の1/10になるまでの時間を定義）も10分程度となった。そして、3つの地震セグメントが数分の時間差で連動発生した場合には、最大震幅は変化しないが、継続時間が20～30分以上に長くなることが再確認できた。

こうした、長時間の揺れは減衰の小さな建物に長時間にわたって共振を起こし、材料疲労の蓄積など大きな影響を与えるものと考えられる。しかしながら、応答スペクトルや震度は最大値により規定され、揺れの継続時間の問題はここから読み取ることができないこと注意が必要である。さらに、時間差連動による継続時間の長大化が平野部の液状化

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS37-16

会場:303

時間:5月21日 14:48-15:03

に及ぼす影響も検討が必要であろう。巨大地震の発生とその時間差連動による長時間の地震動継続の問題は、たとえば震動の累積エネルギーなどの別の指標を用いて評価する必要がある。

本研究は、H20-24年度文部科学省委託研究「連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」により行われました。

キーワード: 地震, 東北地方太平洋沖地震, 長周期地震動

2011年東北地方太平洋沖地震による新潟県中越地域の地震動強さ分布 Distribution of seismic motion in the Niigata-ken Chuetsu area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

植竹 富一^{1*}, 引間 和人¹, 西村 功¹

UETAKE, Tomiichi^{1*}, HIKIMA, Kazuhito¹, Isao Nishimura¹

¹ 東京電力株式会社

¹Tokyo Electric Power Company

新潟県中越地域は、地震基盤が深く、長周期地震動の卓越も指摘されている地域である。この地域で、長岡平野西縁断層帯周辺の地震活動把握を目的に、5~10km間隔で40点の地震観測点が整備された[関根・他(2010)]。各観測点には、地表及び地中100mにサーボ型加速度計が設置されており、広い周期帯域で地盤特性の検討に有効である。今回、2011年東北地方太平洋沖地震の記録の分析を行い、地震動強さの分布と地形・地下構造の関係について検討を行ったので報告を行う。

観測記録は、連続データとして蓄積されているため、本震を含む360秒間を切り出して検討に用いた。加速度波形の包絡形状は、揺れ始めから100秒くらいで最大となる紡錘形をしている。最大加速度値は、丘陵部で10~20cm/s/s、平野部で30~40cm/s/sである。加速度フーリエスペクトルを比較すると、EW成分の0.08Hz、UD成分の0.05Hzに共通のピークが認められる。平野部の観測点では、0.1~1Hzのスペクトル振幅が周辺丘陵部に比べ約5倍となっている。加速度波形を積分して速度波形にすると、EW成分及びUD成分に40秒間隔で二つの明瞭なパルス(周期約20秒)が確認される。平野内部の観測点では、2つのパルスに周波数0.1~1Hzの連続な波が重なり、振幅が大きくなっている。なお、上下動速度波形にセンプランス解析を適用し、伝播性状を評価すると、2つの波群ともほぼ3.3km/sで震央方向(N80E)から伝播している。

最大加速度値、最大速度値、減衰5%の加速度応答値(周期1, 5, 10秒)について、空間分布を評価し、地形及び地震基盤深さ[産総研(2010)]と比較を行った。大局的には地形と振幅分布の対応はよく、丘陵部で小さく平野部で振幅が大きい。角田・弥彦山麓の観測点が、丘陵部の中でも特に振幅が小さい。最大加速度よりも周期1秒の加速度応答の方が、丘陵部と平野部のコントラストが大きく地形と対応が良い。これは、震源が遠く、最大加速度が低周波数の波に影響されているためと考えられる。また、南側の丘陵地では、速度振幅や周期5, 10秒の加速度応答値が大きく、地形よりも地震基盤の深さ分布と対応が良い。これは、長周期側の地震動の増幅が深い地盤構造と関係しているためと考えられる。

長岡平野周辺の観測記録の利用に当たりましては(財)地震予知総合研究振興会・関根秀太郎氏にお世話になりました。また(独)防災科学技術研究所のK-NET・KiK-netの記録も併せて用いました。記して感謝いたします。

キーワード: 地震動の空間変化, 地震基盤深さ, 新潟県中越地域, 2011年東北地方太平洋沖地震, 長周期地震動

Keywords: Spatial variation of seismic motion, Depth of seismic bedrock, Niigata-ken Chuetsu area, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Long-period seismic motion

福島第一原子力発電所の稠密地震計アレイで捉えた平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の破壊伝播 Rupture propagation during the 2011 Tohoku Earthquake deduced from an array of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

青木 重樹^{1*}, 吉田 康宏¹, 干場 充之¹, 中原 恒², 勝間田 明男¹

AOKI, Shigeki^{1*}, YOSHIDA, Yasuhiro¹, HOSHIBA, Mitsuyuki¹, NAKAHARA, Hisashi², KATSUMATA, Akio¹

¹ 気象庁気象研究所, ² 東北大学大学院理学研究科

¹Meteorological Research Institute, ²Graduate School of Science, Tohoku Univ.

1. はじめに

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東北地震)は、450km × 200kmにも及ぶ震源域 [Yoshida et al., 2011, EPS] をもつ巨大地震であった。この地震の高周波励起源は、経験的グリーン関数法による推定 [Kurahashi and Irikura, 2011, EPS] や遠地記録 [Wang and Mori, 2011, EPS] や近地強震記録 [青木・他, 2011, JpGU] を用いた back-projection 解析などで調査されている。各手法の結果は細部で違いはあるものの、破壊開始から100秒程度までは震源域北側(宮城県沖など)の破壊開始点周辺から沿岸にかけての領域で高周波が励起され、その後140秒までは震源域南側(福島~茨城県沖)の沿岸が高周波励起源になるというイメージは共通している。

Nakahara et al. (2011, EPS) は牡鹿半島の短スパンの強震アレイを用いて東北地震のセンブランス解析 [Neidell and Turner, 1971, Geophysics] を行い、アレイに入射した地震動の到来方向の時間変化を推定した。1地点のアレイの到来方向のみからでは、励起源の位置や到来した相の仮定なしに、震源域での破壊に戻すことはできない。そこで、青木・他(2011)が推定した励起源からS波が放射した場合の牡鹿アレイへの入射方位の時間変化と Nakahara et al. (2011) の到来方向の変化を比較したところ、両者は調和的であった。これはアレイ解析で破壊の伝播を捉えることが可能であることを示す成果である。

本発表では、東京電力が福島第一原子力発電所に設置していた強震アレイを用いて、東北地震の破壊伝播の特徴を調査したので報告する。

2. データと手法

気象庁が決定した東北地震の震央は、発電所から見てN64°E方向に178km離れて位置している。観測点は、南北2km、東西1kmの範囲に3成分加速度計が20点(うち2点は津波によりデータ回収不能)、100~500m間隔で地表に設置されていた。分解能は24bitで、サンプリング周波数は100Hz、測定範囲は±2000Galである。東北地震の際にアレイで観測された最大加速度は1000Gal程度なので、全点において振り切れは発生していない。

センブランスの時刻歴は、加速度原記録に、アレイ形状を考慮して0.5-2Hzのバンドパスフィルターを施した上で、成分ごとに5.12秒の時間窓を0.5秒ずつ移動させながら計算した。以下では、波形間のコヒーレンスが比較的高い、北側の7点のみを利用した解析結果を示す。ただし、観測点全体を利用した解析でも、センブランス値の高い部分の到来方向は概ね一致していた。

3. 解析結果

各成分とも、P波の到達以降、最大センブランス値は跳ね上がった。特に上下動成分は顕著で、P波の初動付近で最大のセンブランス値の0.98を示し、S波の到達まで高い値を保持していた。また、その期間の到来方向はN60°E前後で、概ね震央の方向を指し示していた。S波到達以降は、水平動成分に、高いセンブランス値が消長を繰り返しながら現れるようになった。その到来方向は明瞭に時間変化を示しており、S波到達から60秒程度まではN60°Eから±30°の範囲であったが、それ以降、徐々に時計回りに回転して、S波到達から110秒程度でN180°E前後になった後、センブランス値は低下した。

以上の傾向は、先行研究で指摘されている宮城県沖から茨城県沖への高周波励起源の移動と整合的である。青木・他(2011)は、この地震は少なくとも5か所の高周波励起源を含むと指摘している。最初の3個は宮城県沖(#1:破壊開始後38秒,#2:57秒,#3:74秒)の破壊開始点周辺から沿岸に位置しており、残り2個は福島県沖(#4:105秒)と茨城県の沿岸域(#5:131秒)である。これらの高周波励起源からS波が放射された場合のアレイへの入射時刻は、センブランスの局所的なピークの時刻にほぼ一致し、その時の入射方向も±30°以内でピークの方に一致していた。なお、このアレイの多くの観測点ではS波の到達から80~90秒後に最大振幅を記録しているが、この波群はアレイから見てN140°E前後の方向から到来しており、福島県沖(#4)の高周波源が起源と考えられる。

本解析では、アレイ解析による破壊伝播の把握の有効性を示すことができた。今後は複数アレイを用いた励起源の推定手法やリアルタイム処理手法などを検討していきたい。

謝辞

本研究では、東京電力が福島第一原子力発電所の施設内に設置した地表稠密地震計のデータを利用した。記して感謝いたします。

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS37-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 15:30-17:00

キーワード: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震, 破壊伝播, 高周波励起源, センブランス解析, リアルタイム処理
Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Rupture propagation, High-frequency energy radiation sources, Semblance analysis, Near-real-time processing

女川原子力発電所の鉛直アレイにおける2011年東北地方太平洋沖地震の強震動特性-地盤の非線形化が高加速度強震動に与える影響- Strong Ground Motions during the 2011 Tohoku Earthquake at the Vertical Array inside Onagawa Nuclear Power Plant

佐口 浩一郎^{1*}, 倉橋 奨², 正木 和明², 入倉 孝次郎²

SAGUCHI, Koichiro^{1*}, KURAHASHI, Susumu², MASAKI, Kazuaki², IRIKURA, Kojiro²

¹ 株式会社日本アムスコ, ² 愛知工業大学

¹Nihon Emsco Co., Ltd., ²Aichi Institute of Technology

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際、東北電力女川原子力発電所構内においてに大きな地震動が観測され、地表面においては最大加速度が 692cm/s^2 (NS方向)であったと報告されている。この際、地表付近における地盤の非線形化が予想されるため、強震動特性を明らかにするためにも地盤の非線形性を適切に評価する必要がある。本研究では、まず、余震記録を用いて焼きなまし法によるボアホール観測点直下の地盤構造の同定を行う。次に、逆解析から得られた地盤構造を用いてHASKELL法による1次元重複反射理論に非線形係数を導入した解析手法を適用する。最後に、解析により得られた女川原子力発電所における非線形係数から地盤の非線形化が高加速度強震動に与える影響を明らかにする。

2. 地震動記録

女川原子力発電所内においてはボアホール観測では4点の鉛直アレイが組み立てられており、それぞれG4 (GL -1.7m), G3 (GL -27.3m), G2 (GL -61.5m) および G1 (GL -147.1m) となっている。これらの観測点では本震と多くの余震が観測されている。各観測点間のフーリエスペクトル比から、本震時および最大余震 (2011/04/07 23:32 M=7.5) の地表近傍での観測点 (G4) における観測記録は地盤の非線形挙動の影響を強く受けているのに対して地中の観測点 (G1~G3) における観測記録は非線形の影響が比較的少ないことが明らかであり、したがって、G3~G4 に対応する、概ね数10m程度以浅の地盤が本震時に大きく非線形化した可能性が示唆された。

3. 地下構造モデルの同定

本研究では焼きなまし法 (Ingber (1989)) によってボアホール観測点における地下構造モデルの同定を行った。地下構造モデルの同定には1次元重複反射理論での検討を行い、対象には3成分の地中に対する地表のスペクトル比を用いることにより、P波速度構造およびS波速度構造の推定を行った。推定するパラメータは各層のP波速度 V_p 、S波速度 V_s およびQ値であり、さらにQ値に関しては $Q(f) = Q_0 f^n$ とし、 Q_0 と n を推定した。温度低下関数は $T_k = T_0 \cdot \exp(-ck^a)$ で表され、冷却スケジュールのパラメータは $T_0=1$, $a=0.6$, $c=1.0$ とした。また、 T_k が 10^{-30} 以下になるまで繰り返し計算を行った。

4. 非線形係数を導入した地震応答解析

本研究では、余震記録の逆解析から得られた地盤構造を用いてHASKELL法による1次元重複反射理論に非線形係数を導入した地震応答解析 (佐口・他 2009) を行うことにより、女川原子力発電所における地表付近の地盤の非線形化が本震時における強震動特性に与える影響を明らかにする。非線形係数であるパラメータは地盤の非線形化による地震動の振幅の低下量である $c(f)$ と各層のS波速度の低下量である (i) であり、各パラメータは焼きなまし法による逆解析により算出する。解析の結果、概ね5m以浅の非常に浅い地盤内により大きく非線形化したことが明らかとなり、また、各非線形係数から地盤の非線形化が高加速度強震動に与えた影響が明らかとなった。

謝辞

本研究では、東北電力(株)から提供された地震観測記録を使用しています。ここに記して感謝致します。

参考文献

Ingber, L.: Very fast simulated annealing, Math. Comput. Modeling, Vol.2, pp.967-973, 1989

佐口浩一郎・正木和明・入倉孝次郎: 強震時における解放基盤面の地震動の推定 - 2007年新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の地下構造モデルの同定と解放基盤の地震動 -, 日本建築学会構造系論文集, No.628, 831-839, 2009

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 強震動, 焼きなまし法, 非線形係数, 同定

Keywords: 2011 off The Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Strong ground motions, Simulated annealing, Non-linear coefficient, Identification

4月7日に発生した東北地方太平洋沖地震の余震を対象とした岩手県奥州市における高密度アンケート震度調査 A high Density Questionnaire Seismic Intensity Survey in Oshu City of Iwate Prefecture, for the aftershock occurred at A

山本 英和^{1*}, 佐野 剛¹, 齊藤 良平¹
YAMAMOTO, Hidekazu^{1*}, SANO, Tsuyoshi¹, Rohei Saito¹

¹ 岩手大学工学部社会環境工学科
¹ Faculty of Engineering, Iwate University

1. はじめに

岩手県奥州市では、4月7日に発生した平成23年東北地方太平洋沖地震の余震で多数の住宅被害が発生した。平成23年9月16日時点の奥州市の被害状況の報告によれば、住宅の全壊被害は奥州市全体で被災した42棟のうち、33棟が前沢区に集中した。大規模半壊は22棟のうち11棟、半壊は239棟のうち131棟が集中している。3月の本震では全壊した住宅は皆無であった。これらの被害の多くは前沢区中心部に集中して発生している。

気象庁発表の計測震度は奥州市前沢区および衣川区で本震で震度6弱(5.5)、前沢区で、4月の余震で震度6弱(5.8)と観測され大差ない。本研究では奥州市全域および前沢区中心部で区域ごとの地震時の揺れの差異を空間的に把握すること、および3月の本震時と4月の余震時で区域ごとの震度の面分布の差異を把握することを目的に、奥州市役所市民環境部および教育委員会の協力を得て、住民を対象とした地震の揺れに関する高密度アンケート調査を実施した。本報告では、4月7日に発生したM7.1の余震時における奥州市の震度分布について報告する。

2. アンケート震度調査

震度アンケートは太田方式を採用した(太田他, 1979, 1998)。3月の本震と4月の余震のアンケートを2枚一組として同時に調査を実施した。アンケートから推定される震度は住民の個人差の影響を受けることから、多数の回答を平均して当該地域の代表値とすることが多い。そのため地方小都市ではできるだけ多数の世帯を対象とした調査を実施する必要がある。今回は、奥州市教育委員会の協力を得て奥州市の小学校の児童6,727名の家庭を対象とした。また被害の集中した前沢区では、生徒数347名の前沢中学校全世帯も対象とした。また前沢区中心部では、行政区の区長から調査を依頼し、200世帯を調査の対象に追加した。配布総数は7284枚である。学校単位の調査では、奥州市教育委員会から8月中旬に学校へ調査票を配布し、児童および生徒の家庭に調査を依頼、調査票を配布し、回答後回収した。回収した調査票は学校から教育委員会を通して岩手大学へ郵送した。行政区単位の調査では奥州市前沢総合支所を通じて回収した。地震時の揺れを感じた場所は、調査票に回答された住所からGoogle Mapを利用して緯度経度を算出し、回答とともにデータベースに入力した。地震時の住所が番地単位まで詳細に記載されていない調査票は今回の調査では無効とした。

3. 解析結果

3月の本震における回収数は5501枚、配布数に対する回収率は75.8%、4月の余震における回収数は5488枚、回収率は75.3%であった。両地震とも非常に高い回収率であることがわかる。4月の余震の4412枚、配布数に対する有効回答率は60.4%であった。平成20年岩手・宮城内陸地震でも同様の調査を当該地域でも実施していたが、その際の調査よりもはるかに高い回収率および有効回答率を示していることから今回の調査に対する関心の高さがうかがえる。

東西南北1kmのメッシュを作成し、1枚の回答から算定された震度をメッシュ内で平均化して震度分布図を作成する。さらにアンケートの個人差を軽減するためにメッシュ内で3枚以上回答があるメッシュのみを採用して震度分布図を作成した。その結果、1kmメッシュで3枚以上回答が存在するメッシュは1079となった。震度の最大は前沢区字島で6.33、最小は江刺区米里で4.02、メッシュの平均は4.91(震度5弱)となった。頻度分布を作成すると、震度5弱がもっとも頻度が高くなった。震度分布図から市域南部の前沢区で震度6強のメッシュが多数分布していることがわかる。また、市域中心部から西部の水沢区から胆沢区では震度5弱が多数分布することがわかる。ただし、東部の水沢区羽田、江刺区などでも震度5強から震度6弱が分布している。これらは4月の余震で住宅被害や橋梁の被害が認められた地域に該当することがわかった。

また、アンケートから得られた震度と計測震度を比較したところ、奥州市前沢区では計測震度で6弱(5.8)、1kmメッシュ平均震度で5.7とほぼ一致した。1kmメッシュでは区域内で地盤条件が変わる場合があるため、今後、メッシュサイズを変更した解析や計測震度観測点近傍のみ平均する解析などをする必要があると思われる。

謝辞

奥州市教育委員会および奥州市前沢総合支所長阿部正勝様には行政区のアンケート調査の便宜を図っていただきました。住民の皆様にはアンケート震度調査に協力していただきました。記してここに謝意を表します。

参考文献

- 太田ほか(1979): 北海道大学工学研究報告, 92, pp.117-128.
太田ほか(1998): 自然災害科学, 16, pp.307-324.

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS37-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 15:30-17:00

キーワード: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震, 2011 年 4 月 7 日の余震, 高密度アンケート震度調査, 計測震度, 地震被害, 岩手県奥州市

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, aftershock at April 7 in 2011, high density Questionnaire Seismic Intensity Survey, Instrument seismic intensity, earthquake damage, Oshu City, Iwate Prefecture

2011年東北地方太平洋沖地震の余震観測と微動探査による KiK-net 芳賀観測点周辺での地盤増幅特性の評価 Estimation of site amplification from observation of aftershocks and microtremor explorations near KiK-net Haga station

山中 浩明^{1*}, 津野 靖士², 地元 孝輔¹, 新色 隆二¹

YAMANAKA, Hiroaki^{1*}, TSUNO, Seiji², CHIMOTO, Kosuke¹, NIRO, Ryuji¹

¹ 東工大総合理工, ² 鉄道総合研究所

¹Tokyo Institute of technology, ²Railway Technical Research Institute

2011年東北地方太平洋沖地震では、広い範囲で強い揺れが観測された。多くの地点で6強以上の震度が観測された。震度7が観測された地点は、宮城県K-NET 築館(MYG004)および栃木県KiK-net 芳賀(TCGH16)である。築館では、2Gを超える最大加速度であり、その原因や周辺の地震動特性の分布についての研究が行われている(早川ほか, 2011; 松島ほか, 2011; 山中ほか, 2011)。一方、KiK-net 芳賀では、最大加速度1.3Gと大きいのが、築館ほど検討が行われていない。田中・野畑(2011)は、周辺の強震観測点での記録と比較して、表層地盤と深部地盤の影響で芳賀観測点での地震動が大きくなることを指摘している。

この研究では、震度7が観測されたKiK-net 芳賀観測点の周辺の複数の地点において、余震による地震動の比較観測を行い、地震動の空間変動特性を明らかにし、さらに同地域で微動探査を実施し、この地域での地震動特性と地盤増幅の関係性を明らかにすることを試みた。

観測では、KiK-net 芳賀観測点を中心にして1km程度の範囲で直線上に8点が余震観測点として設けられた。観測対象地域は、標高に大きな差異はなく、平坦な地形であるが、観測点のうちの一つを標高の台地に置き、基準点とした。また、KiK-net 芳賀観測点の付近には、100m程度の間隔で4地点設置した。余震観測では、加速度計とロガーの組み合わせの機器を用いて、5月14~16日間に連続して地震動データを取得した。観測機器の回収時に各地点で表層地盤を対象とした微動探査も実施した。得られた地震記録は、M5.3以下の地震による30gal以下のものである。基準点とのスペクトル比を比較すると、どの地点でも周期0.2~0.3秒の成分が卓越することがわかった。このピーク周期は、KiK-netでの強震記録にも認められるものである。

微動探査は表層地盤のS波速度構造を明らかにすることを目的として各余震観測点行われた。1辺の長さが2~16mの7点からなる三角形アレイで微動を数十分観測した。アレイ記録のSPAC法による分析から深さ20m程度までのS波速度構造を同定することができた。その結果による深さ30mまでの平均S波速度は、基準点を除いて220~300m/sであり、地盤増幅特性に大きな差異はないと考えられる。なお、基準点では平均S波速度は500m/sであった。

以上の結果から、KiK-net 芳賀観測点周辺の1km程度の範囲では、表層地盤による増幅特性はほぼ同じであり、周期0.2~0.3秒に卓越周期を有するものであることがわかった。表層地盤構造にも大きな差異がないことから、強震時にも同様であると考えられる。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 強震記録, 余震観測, 微動探査, 地盤増幅, 表層地盤

Keywords: 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, strong ground motion records, aftershock observation, microtremor exploration, site amplification, shallow soil

2011年東北地方太平洋沖地震において多くの構造物被害を受けた大崎市古川における地盤構造の推定

Gravity survey around Furukawa, Osaki, Japan, where is severely damaged by 2011 Tohoku earthquake

Sripunyaphikhup Sakkrawit^{1*}, 盛川 仁¹, 後藤 浩之², 稲谷 昌之², 小倉 祐美子¹, 徳江 聡¹, ZHANG XINRUI¹, 岩崎正浩³, 荒木正之⁴, 澤田純男²

SRIPUNYAPHIKHUP, Sakkrawit^{1*}, MORIKAWA, Hitoshi¹, GOTO, Hiroyuki², INATANI, Masayuki², OGURA, Yumiko¹, TOKUE, Satoshi¹, ZHANG, XINRUI¹, IWASAKI, Masahiro³, ARAKI, Masayuki⁴, SAWADA, Sumio²

¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究所, ² 京都大学防災研究所, ³ 大崎市役所, ⁴ (株)aLab

¹Tokyo Institute of Technology, ²Kyoto University, ³Osaki City Government, ⁴aLab Co.Ltd.

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake have brought destructive damage to huge area of Japan. Sever damage were found in huge area around Kanto and Tohoku region, where are mid and northern area of Japan, respectively. Tsunami has attacked to the Pacific coast of Tohoku region and the damage caused by liquefaction were found at very large area around Kanto and southern Tohoku region.

On the other hand, damage caused by earthquake ground motions was fewer than damage by Tsunami and liquefaction, though very large accelerations were recorded at many sites. They seem to pay few attention to damage by ground motions. However, sever damage by motions was recognized at some limited areas, such as Furukawa, Tome, and so on.

After the earthquake, we have carried out the detailed survey of damage in Furukawa, where is located in northern part of Miyagi prefecture. Although the downtown of Furukawa is not so large, that is, only about 2 km x 2 km, the damage distribution was not uniform. Severe damage of wooden structures was found mainly in the southern part of the downtown and few damage in northern part. Of course, we have to consider the differences of structural ages, but the anomaly of damage distribution had enough persuasive to suggest anomaly of earthquake ground motions.

To understand the anomaly of damage distribution, we began observation of earthquake ground motions using very dense sensors in Furukawa. In the area of 2 km x 2 km of downtown, we have installed 19 sensors by the end of 2011. As a result, the anomaly of ground motions is large beyond our consideration. It is very difficult to explain them using a simple physical model such as one-dimensional ground model.

The anomaly of ground motion must be caused by anomaly of ground structure. Thus, to know it, we carried out the gravity survey around the Furukawa area. In this area, it seems to be estimated that soft soil sediments is not so thick: the depth to engineering basement is less than 50 m. This means that very high resolution of gravity anomaly is required. The intervals of observations are less than a few hundred meters in the downtown.

The Bouguer anomaly shows different features from anomaly of ground motion and predominant period of response spectra. This suggests that the ground structure seems to be very complicated in Furukawa area.

For the further study, we have to carry out the gravity survey with shorter interval of sites. Furthermore, other kind of physical parameters may be necessary to obtain more accurate model of ground structure, such as magnetic survey and so on.

キーワード: 宮城県大崎市古川, 2011年東北地方太平洋沖地震, 重力探査, 地盤構造, 高密度アレー観測

Keywords: Furukawa, Osaki, Miyagi, 2011 Tohoku earthquake, gravity survey, ground structure, dense seismic array observation

宮城県大崎市古川地区における超高密度強震観測 Very Dense Seismic-Array-Observation in Furukawa District, Miyagi, Japan

稲谷 昌之^{1*}, 後藤 浩之¹, 盛川 仁², 小倉 祐美子², 徳江 聡², ZHANG XINRUI², 岩崎 政浩³, 荒木 正之⁴, 澤田 純男¹
INATANI, Masayuki^{1*}, GOTO, Hiroyuki¹, MORIKAWA, Hitoshi², OGURA, Yumiko², TOKUE, Satoshi², ZHANG, XINRUI²,
Masahiro Iwasaki³, Masayuki Araki⁴, Sumio Sawada¹

¹ 京都大学, ² 東京工業大学, ³ 大崎市役所, ⁴ (株) aLab

¹Kyoto University, ²Tokyo Institute of Technology, ³Osaki City Office, ⁴aLab Inc.

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、局所的ではあるものの東北地方から関東地方にかけての内陸部で地震動による被害が発生している。本研究で対象とする宮城県大崎市古川地区は地震動による家屋被害、液状化被害が集中して発生した地域である。古川地区内には強震観測点が1km程離れて2点(K-NET・気象庁)設置されているが、周囲の被害状況は異なっていた。本震記録の特徴を比較すると気象庁記録の方が1.0-1.5秒のレベルが高いことが報告されており、地盤震動特性の違いも被害状況の違いに影響した可能性が考えられる。

古川地区の地盤震動特性を評価するため、同地区に超高密度強震観測網を展開した。低コストの観測を実現するため、IT強震計(ITK-002)を採用している。記録されたデータはインターネット回線で常時送信する。このため、大崎市役所を介して電源と常時接続回線を利用できるボランティアを募集した。2011年9月末に設置作業を始めて以降、順次観測点数は増加し、現時点の観測点数は19点である。観測網は概ね被害のあった地域とK-NET、気象庁震観測点を含むように構成されている。観測点間の距離はばらつきがあるものの、概ね250m程度である。

2012年1月末までの記録のうちK-NETにおいても観測されているイベントは29個である。このうちS/Nが十分にあると考えられる記録について調べると、観測点毎のK-NETに対する最大加速度比は0.8から1.2倍、最大速度比は0.7から1.3倍程度の差が認められる。また、スペクトル比を比較すると、3Hz付近に明瞭なピークをもつ観測点が複数存在する。これは地盤震動特性の違いを反映しているものと思われる。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地震動, 古川, 地震観測網

Keywords: off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Ground motion, Furukawa, Seismic array observation

2011年東北地方太平洋沖地震による大阪堆積盆地の長周期地震動 Long-period Ground Motion Characteristics of the Osaka Sedimentary Basin during the 2011 Great Tohoku Earthquake

佐藤 佳世子^{1*}, 加藤 護², 浅野 公之¹, 岩田 知孝¹

SATO, Kayoko^{1*}, KATO, Mamoru², ASANO, Kimiyuki¹, IWATA, Tomotaka¹

¹ 京都大学防災研究所, ² 京都大学大学院人間・環境学研究科

¹DPRI, Kyoto University, Uji, Kyoto, Japan, ²Graduate School of Human and Environmental Studies

堆積層で増幅される周期数秒から十数秒の長周期地震動は超高層ビルや石油タンクなどの巨大構造物の固有周期をその周期帯に含んでいるため、大規模な被害を起こす可能性が指摘されている。たとえば2003年十勝沖地震では、震源域からおよそ200km離れた勇払堆積平野に位置する苫小牧で周期6-7秒の揺れが卓越し、石油タンクのスロッシング火災事故が起きた。このような長周期地震動の特性を知り、生成メカニズムを解明することが必要である。

本研究では大阪堆積盆地について堆積盆地内外で観測された2011年東北地方太平洋沖地震本震の記録を解析した。大阪堆積盆地では2010年度に自治体の震度計が26点増設され、観測点密度が大幅に増加した。今回の地震では大阪堆積盆地内外およそ100点で観測記録がとれており、ほぼすべての観測点で良好な記録がとれた。またこの地震記録は長周期成分までS/N比がよく、堆積盆地での長周期地震動の増幅特性について解析できると考えた。今回、高密度の観測網で得られた波形記録を用いることで波動場の解析および堆積盆地での地震動の増幅の特性の考察を面的に行うことが期待できる。

解析としては、まず、(1)用いた地震計の設置方位の推定を行った。基準の観測点と各観測点の水平2成分に対して30秒から50秒の周期帯域で相互相関を取り、相関値が最大となる方位差と遅れ時間を推定し、それを用いて設置方位を推定した。

次に(2)堆積盆地の長周期地震動の増幅特性を調べるために記録のS波部のフーリエスペクトルを取り、盆地外の6点の観測点の平均スペクトルを基準として水平動のスペクトル比を取った。その後スペクトル比から長周期側のピークを選び、堆積層の増幅に対応する卓越周期を求めた。

さらに(3)基盤の深さと観測された卓越周期の関係を調べるため、Iwata et al.(2008)およびIwaki and Iwata(2011)の地下速度構造モデルから得た基盤深さと堆積層の平均伝播速度を用いて実体波の増幅が卓越する周期の理論値を求め、観測値と比較・検討した。

以上の解析の結果、十数秒以上の周期帯では盆地内外のスペクトル比がほぼ1と等しくなるが、十数秒以下の周期帯では堆積盆地でのスペクトル比が大きくなり、堆積層での長周期地震動の増幅が見られた。堆積層での地震動の増幅は近似的に基盤深さに対応して卓越周期をもつと考えられるため、スペクトル比の卓越周期を基盤深さのコンター図上にマッピングした。しかし基盤深さの変化が急激であるところと緩やかなところでは、同じ基盤深さでも卓越周期が1、2秒ずれる傾向があった。このようなばらつきを考えるには次元近似だけでは不十分で基盤の勾配などの水平構造を考慮することが重要となるかもしれない。また卓越周期の理論値と観測値を比較したところ理論値がより長周期となる傾向があり、観測値を求める際に最も長周期側の卓越を読み落としている可能性や地下構造モデルの見直しなどについて検証していく必要がある。

今後H/Vスペクトル比の解析を行う、方位による地震動の大きさの違いの考察などをしていきたい。

地震波形記録は大阪府の震度計、防災科学技術研究所のK-NETおよびKiK-net、F-net、関西地震観測研究協議会および建築研究所の強震記録を使用しました。記して感謝いたします。

キーワード: 長周期地震動, 大阪堆積盆地, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: Long-period Ground Motion, Osaka Sedimentary Basin, 2011 Great Tohoku Earthquake

改良経験式に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーション Long-period strong motion simulation of the 2011 Tohoku earthquake based on revised empirical attenuation relations

佐藤 智美^{1*}, 大川出², 西川孝夫³, 佐藤俊明⁴

SATO, Toshimi^{1*}, Izuru OKAWA², Takao NISHIKAWA³, Toshiaki SATO⁴

¹ 大崎総合研究所, ² 建築研究所, ³ 首都大学東京, ⁴ 清水建設

¹Ohsaki Research Institute, ²Building Research Institute, ³Tokyo Metropolitan University, ⁴Shimizu Corporation

筆者ら(佐藤・他,2010)は、長周期構造物の設計用長周期地震動の策定を目的として、多数の強震観測記録に基づき、長周期を含む周期0.1~10秒の加速度応答スペクトル(減衰定数5%)の距離減衰式と群遅延時間の平均値・分散の経験式を作成し、長周期地震動波形を作成する方法を提案している。本研究では、この経験式作成後に発生した東北地方太平洋沖地震の余震等も含めて経験式を改良し、東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーションを行った。

改良経験式で、追加された地震は、2007年8月から2011年5月までの、 $M_J 6.5$ 以上、震源深さ60km以下の海溝型地震である。結果的には、フィリピン海プレートの地震は2009年駿河湾の地震が1個、太平洋プレートの地震($M_w 6.1 \sim 7.8$)が17個が追加された。追加されたデータは、(佐藤・他,2010)と同様のK-NET、KiK-net観測点と、関東平野、濃尾平野、大阪平野の気象庁95型観測点での水平成分の記録である。

佐藤(2010)の加速度応答スペクトルの経験式は、震源項として M_w 項のみを考慮し、日本全国の平均的な距離減衰特性と各観測点での地盤増幅特性が表現される一般的な式であった。本研究では、はじめに、 $M_w 2$ 項、 M_w の頭打ち、太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震の距離減衰特性と地盤増幅特性の違い等を考慮した、6つの異なるケース(ケース1~6)を用いて検討を行った。東北地方太平洋沖地震については、断層モデルの設定が難しく、これが回帰係数に大きく影響すると考えられるため、この地震を含めない回帰式(ケース1~4)を基本とした。1944年南海地震の復元記録(Midorikawa et al.,2006;古村・中村,2006)や、地震本部の長周期地震動予測地図の計算波や、複数の研究者による既往の計算波との比較から、 $M_w 2$ 項、太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震の距離減衰特性と地盤増幅特性の違いを考慮したケース4を最終的に最適と判断した。東北地方太平洋沖地震を1枚矩形断層と仮定して、このデータを含めたケース5と6による回帰式も作成したが、復元波や既往の計算波を過小評価する傾向があった。

最適と判断したケース4は、距離減衰の係数を太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震で区別するとともに、関東平野では堆積層が厚い(地盤の固有周期の長い)観測点での地盤増幅率を太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震で区別している。佐藤・他(2011)の検討により、地震本部の地下構造モデルに基づく地震基盤から工学的基盤までの固有周期が4秒以上の地点で地盤増幅率が大きいことがわかっているため、この条件の観測点での地盤増幅率を区別している。

群遅延時間の平均値・分散の経験式についても、佐藤(2010)と同じ式のケース(ケースa)と太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震の距離減衰特性と地盤増幅特性の違い等を考慮した(ケースb)の比較を行い、復元波や既往の計算波との比較からケースbを最適と判断した。

改良経験式に基づき、3月9日の前震($M_w 7.4$)、3月11日の最大余震($M_w 7.8$)、2011年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーションを行った。3月9日の前震、3月11日の最大余震では、この経験式で長周期地震動がよく再現された。東北地方太平洋沖地震の断層モデルは、佐藤(2012)の経験的グリーン関数法に基づく4つの強震動生成領域から成る震源モデルに基づき設定した。3つめと4つめの強震動生成領域は位置も破壊開始時間もほぼ同じであることから、1つの断層面にあると仮定した。すなわち、3つの巨視的断層面を考え、それぞれの巨視的断層面のパラメータを地震本部のレシピに基づき設定した。ただし、パラメータの設定順序は異なっており、はじめに、静的応力降下量を設定し、強震動生成領域の面積、応力降下量から、巨視的断層面の面積を計算する。次に、巨視的断層面の面積と静的応力降下量から地震モーメントを算出した。断層面は正方形を仮定するが、断層幅は200kmを上限とした。この結果、静的応力降下量3MPaで、観測された長周期地震動をほぼ再現できることがわかった。ただし、周期5秒程度以上でやや過大評価であった。巨視的断層面1、2、3の M_w は、8.4、8.8、8.1であり、改良経験式の最大 $M_w 8.2$ に対して外挿になっている。今後、 M_w の頭打ちを考慮した計算や、静的応力降下量を変えた計算を行い、その感度について検討を行う予定である。

謝辞:本研究は、国土交通省による平成23年度建築基準整備促進事業の技術開発の成果である。長周期地震動・応答WGの委員の方々には貴重なご意見を頂きました。記して感謝致します。

キーワード:長周期地震動,経験式,東北地方太平洋沖地震,シミュレーション, $M_w 2$ 項

Keywords: long-period ground motions, empirical attenuation relations, the 2011 Tohoku earthquake, simulation, $M_w 2$ term

東北地方太平洋沖地震における高層ビル内の揺れと人間の行動の困難さなどの実態調査結果

The survey of human perception and reaction in high-rise buildings in 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

相澤 幸治^{1*}

AIZAWA, Koji^{1*}

¹ 気象庁地震火山部地震津波監視課

¹ Earthquake and Tsunami Observation Division, JMA

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震では、東京都内の一次固有周期 3 秒のビルで最大加速度 200~300gal、最大速度 50~70kine (久保ほか、2011)、大阪市内の周期 6 秒程度のビルで最大加速度約 100gal、最大速度約 100kine (建築研究所、2011) などが観測され、揺れの継続時間が 10 分を超える場所もあった (久田、2011) など、高層ビル内で大きな揺れが観測され、什器等の転倒や内装材の被害が発生した (久保ほか、2011)。長周期地震動による、高層ビル内における揺れの大きさと長さが、人間の行動や什器の転倒・移動の状況にどのように影響したのかについて調査を行ったのでここに報告する。

東北地方太平洋沖地震における高層ビル内での揺れの状況を把握するため、東京都内 40 棟および大阪市内の高層ビル 3 棟において聞き取り調査を行うと共に、東京都内の 4 棟のビルでアンケート調査を行った。高層ビル内では、上層階になるにつれ、行動の難しさ、什器等の転倒が概ね増加している。上層階では、「ものに掴まらないと立っていらなかった」、「歩けなかった」、という証言が多く、一部のビルでは「這いつくばった」という証言を得た。これらの証言と固定していなかった什器の転倒を比較すると、行動の難しさが上がるにつれて、転倒数が多かった。また、揺れの継続時間については、低層階、上層階とも、「いつもは直ぐ収まるのに、いつまで経っても止まらない。とにかく、長かった。」「いつ終わるとも知れなかった」など揺れの継続時間の長さを示す証言が多く、長い揺れの中で、背の高い什器がロッキングを起こした後転倒、キャスター付きの什器が室内を移動するなどの実態が明らかとなった。さらに、揺れの雰囲気について、上層階では「船に乗っているような感じ」、「最初円をかくようになって、次第に大きく回る感じ」、「ぐらぐら、緩い揺れが長く続いた」などの証言が多く、揺れによって船酔いのように気分を悪くする人が 4 割程度に上ったビルもあった。大阪市内の周期 4 秒程度の高層ビル内で過去観測された揺れと被害の発生状況とを比較すると、東北地方太平洋沖地震において 30~40gal、20kine 程度の揺れが継続した時間では「ものに掴まりたくなかった」、「よるめきながら歩くことは出来た」、平成 16 年 9 月 5 日の東海道沖の地震における 100gal、80kine 程度の揺れが継続した時間では「柱にしがみついていないと立っていることは難しかった」との証言を得た。

ビル内での観測波形および証言や映像から得た観測階での人の行動の困難さを比較した。東京都内の高層ビル内で観測された最大加速度は概ね 14 時 49 分 00 秒~20 秒の間で観測されているのに対し、人の行動は 14 時 49 分台後半から 14 時 50 分台が最も困難となっている。高層ビル内で観測された加速度波形を積分して得られた速度や変位は最大加速度の出現時刻より数秒~数十秒遅れて大きくなっていることから、高層ビル内における人の行動の困難さは、加速度だけではなく速度や変位の増大も関連していると考えられる。さらに、ビル内の最上階での観測波形のフーリエスペクトルをみると、14 時 49 分台前半は一次モードおよび二次モードに対応する周期成分が同程度のパワーであるのに対し、14 時 49 分台後半からは一次モードのパワーが大きくなっている。周期数秒のパワーが大きく継続時間が長い地震動となった東北地方太平洋沖地震においては、高層ビルへ、その一次固有周期と共振する波が繰り返し入力することによって一次モードが成長し、加速度のみならず速度、変位も増大し、行動の困難さが増したと考えられる。その他詳細な内容は当日報告する。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 高層ビル, 応答, 人間の行動と反応

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, high-rise buildings, response, human perception and reaction

2011年東北地方太平洋沖地震に伴うつくば市および土浦市周辺地域における瓦屋根の被害分布

Distribution of tiled roof damage around Tsukuba and Tsuchiura cities, caused by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku

岡田 真介^{1*}, 坂田 健太郎¹, 中村 洋介¹, 納谷 友規¹, 長 郁夫¹, 中澤 努¹, 小松原 琢¹

OKADA, Shinsuke^{1*}, SAKATA, Kentaro¹, NAKAMURA, Yosuke¹, NAYA, Tomonori¹, CHO, Ikuo¹, NAKAZAWA, Tsutomu¹, KOMATSUBARA, Taku¹

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

¹ Geological Survey of Japan, AIST

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によってつくば市・土浦市およびその周辺地域では、多くの建物被害および地盤変状等を受けた。その中でも、特に顕著だったのが瓦屋根の被害である。瓦屋根の被害は軒数が多くかつ広域に分布することから、地震被害の分布と地形・地質との関係を明らかにする際の指標として有用である。そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震に伴う地震動と地形・地質の関係を明らかにするために、Google Earthの衛星画像を用いて瓦屋根被害の分布を把握した。その結果、衛星画像から7142点の瓦屋根被害を抽出した。これらの被害は、沖積層が分布する地域だけでなく、台地(中段丘上)にも多く分布することが明らかになった。また台地上において地表地質が同じ地域でも被害に差があることから、地表の地形・地質だけでなく地下地質が被害に大きく関係していることが示唆された。そこで本研究では、瓦屋根の被害分布と地下地質との対応を明らかにするために、常時微動調査(H/V)を実施した。本発表では、つくば市および土浦市周辺の瓦屋根被害の分布と常時微動調査の結果とボーリングデータに基づいた地質との関係について報告する。

常時微動の観測に際して、防災科学技術研究所 藤原広行博士より微動計JU-215をお借りしました。また同研究所の先名重樹博士らが開発した微動観測解析ツール(先名他, 2006, 2008)を利用しました。ここに記すと共に謝意を表します。

引用

先名重樹, 安達繁樹, 荒木恒彦, 飯澤清典, 藤原広行: 微動探査観測システムの開発, 第115回物理探査学会予稿集, pp.120-122, 2006.

先名重樹, 藤原広行: 微動探査観測ツールの開発 その1 - 常時微動解析ツール -, 防災科学技術研究所研究資料第313号, 2008.

キーワード: 瓦屋根被害, Google Earth 画像, 2011年東北地方太平洋沖地震, つくば市, 土浦市

Keywords: tiled roof damage, Google Earth image, 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Tsukuba City, Tsuchiura City

福島県浜通り地震における断層近傍の建物被害調査と強震動予測について Investigation of Building Damage near Surface Faults and Estimation of Strong Motion of the 2011 Iwaki Earthquake

久保 智弘^{1*}, 久田 嘉章¹, 松本 俊明¹, 森川 淳², 引間 和人³

KUBO, Tomohiro^{1*}, HISADA, Yoshiaki¹, MATSUMOTO, Toshiaki¹, Atsushi Morikawa², HIKIMA, Kazuhito³

¹ 工学院大学, ² 小堀鐸二研究所, ³ 東京電力株式会社 技術開発研究所 耐震技術グループ

¹Kogakuin University, ²Kobori Research Complex, Inc., ³R&D Center, Seismic Design Group, Tokyo Electric Power Company

2011年4月11日に福島県いわき市において正断層による地震が発生した。この地震は、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震によって誘発されたものと考えられ、井戸沢断層、塩ノ平断層と湯ノ岳・藤原断層の地表断層が出現した(石山他, 2011)。その出現した地表断層により引き起こされた地盤変状によって建物被害が発生した。そこで、本研究では建物被害調査を実施し、断層直上とその近傍を中心に被害結果を整理した。

その結果、今回の地震ではほぼ断層直上のみで地盤変状による被害が生じていた。

また、断層近傍の観測記録がないことから、本研究では強震波形による震源解析結果(引間,2011)を用いて、断層近傍の強震動を推定し、強震動と建物被害、地盤変状による被害について分析を行った。

謝辞：本調査研究は工学院大学・125周年記念事業による助成を頂き、同大・総合研究所・都市減災研究センターとの連携のもとに行われています。

キーワード: 断層近傍, 建物被害, 強震動予測, 悉皆調査, いわき市

Keywords: Near Surface Fault, Building Damage, Strong Ground Motion Simulation, Complete Enumeration, Iwaki City