

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, 齋藤 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て、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で行われた。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することができると考えた。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(中位段丘上)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