

アスペリティの動的応力降下量の不均質性を考慮した長大横ずれ断層の断層モデルに関する検討 Study on long strike-slip fault model with heterogeneous dynamic stress drops on asperities

小穴 温子^{1*}; 石井 透¹; 壇 一男¹; 藤原 広行²; 森川 信之²
OANA, Atsuko^{1*}; ISHII, Toru¹; DAN, Kazuo¹; FUJIWARA, Hiroyuki²; MORIKAWA, Nobuyuki²

¹ 清水建設技術研究所, ² 防災科学技術研究所

¹Institute of Technology, Shimizu Corporation, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

小穴・他(2013)では、壇・他(2011)の長大横ずれ断層の断層パラメータ設定手法を用い、中央構造線断層帯沿いに発生する地震を想定して断層モデルを設定し、強震動の試算を行った。そこでは、アスペリティによらず、動的応力降下量を均質としており、断層破壊の不均質性については考慮していなかった。しかしながら、実現象では、すべてのアスペリティの応力降下量が均質であるとは考えにくい。特に長大な断層ほど、そのような不均質性が地震動の空間分布に与える影響は極めて大きいと推察されるため、不均質性をどのように取り入れるかは強震動予測において重要な課題である。また、破壊開始点などの断層パラメータの不確かさも地震動に大きく影響すると考えられるため、これも断層パラメータの設定の過程で考慮していく必要がある。

そこで、本研究では、壇・他(2011)の手法を発展させた強震動予測のためのアスペリティの動的応力降下量の不均質性を考慮した断層モデル設定方法を提案することを目的として、その断層パラメータ設定方法について検討し、強震動の試算を行った。さらに、断層パラメータの不確かさが地震動に与える影響について確認するために、破壊開始点・アスペリティの配置・アスペリティの面積と動的応力降下量の関係を変化させたケースについても検討した。

はじめに、複数のアスペリティを有する断層をモデル化する場合に、それぞれのアスペリティに不均質な動的応力降下量を与えるための断層パラメータ設定方法を検討した。具体的には、既往研究による過去の地震の強震動生成域における応力降下量のデータに基づき、それらの確率密度分布を求め、アスペリティの個数でそれを等分したときのそれぞれの midpoint の頻度に対応する動的応力降下量を与える方法を示した。ここで、複数のアスペリティに不均質な動的応力降下量を与える場合、アスペリティモデルのすべてのパラメータ関係式を満たすことは不可能であったため、地震モーメントの関係式を優先して満足させるようにし、短周期レベルの関係式との間に生じる誤差は許容することにした。ただし、その誤差は、アスペリティ 10 個の場合でも、均質な動的応力降下量を与えた断層モデルの短周期レベルの 6 % 程度に収まった。なお、アスペリティの面積と動的応力降下量の関係は分析・整理されていないため、ここでは一つの考え方として、各アスペリティの面積の比とアスペリティの動的応力降下量の比の関係をランダムと仮定した。

次に、上記の不均質性を考慮した断層パラメータ設定方法に基づく断層モデルによる地震動を確認するために、中央構造線断層帯沿いの地震を対象に、断層モデルを設定し、統計的グリーン関数法により強震動を試算した。断層モデルのアスペリティの配置は、動的応力降下量が大きいものと小さいものが交互になるような 1 ケースを設定した。結果として、司・翠川(1999)の距離減衰式の平均値に対するばらつきは、小穴・他(2013)の各アスペリティの動的応力降下量が均質なモデルでは対数標準偏差が最大加速度で 0.19、最大速度で 0.13 であったのに対して、本検討の各アスペリティの動的応力降下量が不均質なモデルでは最大加速度で 0.20、最大速度で 0.16 となり、やや大きくなった。特に震源近傍の地点に着目すると、本検討の不均質なモデルではその偏差が標準偏差を上回る地点も見られるようになった。司・翠川(1999)の距離減衰式の対数標準偏差である 0.25、0.23 に比べるとばらつきが小さいが、この距離減衰式は、多くの地震と観測点のデータに基づき震源特性・伝播特性・サイト特性のすべてのばらつきを含むのに対し、本検討は特定の地震・特定の伝播経路・特定のサイト(全計算点で工学的基盤相当とし、一律のサイト特性を与えている)を対象としているため、この結果は妥当と考えられる。

最後に、震源に関わるパラメータの不確かさが地震動に与える影響について検討した。不確かさを考慮したパラメータは、破壊開始点・アスペリティの配置・アスペリティの面積と動的応力降下量の関係の 3 つである。それぞれの検討ケース数は限られるものの、司・翠川(1999)の距離減衰式に対する平均的なばらつきは、破壊開始点の違いを含む場合は対数標準偏差が最大加速度で 0.23、最大速度で 0.21、アスペリティの配置の違いを含む場合は最大加速度で 0.22、最大速度で 0.17、アスペリティの面積と動的応力降下量の関係の違いを含む場合は最大加速度で 0.20、最大速度で 0.17 となった。したがって、破壊開始点の違いが地震動に与える影響が相対的に大きいことがわかった。

今後は、不均質性を考慮した断層モデル設定方法を長大逆断層にも拡張する予定である。

キーワード: 長大断層, 不均質, 強震動予測

Keywords: Very long fault, Heterogeneity, Strong motion prediction

M8クラスのスラブ内地震に適用可能な断層パラメータ設定方法の構築に向けた検討 Establishing procedure of evaluating fault parameters for predicting strong motions from intra-slab earthquakes with M8

新井 健介^{1*}; 壇 一男¹; 石井 透¹; 花村 正樹¹; 藤原 広行²; 森川 信之²
ARAI, Kensuke^{1*}; DAN, Kazuo¹; ISHII, Toru¹; HANAMURA, Masaki¹; FUJIWARA, Hiroyuki²; MORIKAWA, Nobuyuki²

¹ 清水建設, ² 防災科学技術研究所

¹ Shimizu Corporation, ² National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

スラブ内地震の強震動を高い精度で予測するためには、スラブ内地震の震源特性に基づく断層パラメータ設定方法の構築が必要である。これまで、そのような研究が笹谷・他(2006)や壇・他(2006)により行われているが、提案されている断層パラメータ設定方法が実際の地震記録の再現によって十分検証されているとは言い難い。そこで、新井・他(2013)では、2011年4月7日に宮城県沖で発生したスラブ内地震を対象とした検討を行い、既存の断層パラメータ設定方法の適用可能性と問題点を指摘し、併せて問題点の克服に向けた工夫の提案を行った。2011年4月7日のスラブ内地震は短周期レベルが笹谷・他(2006)の式あるいは壇・他(2006)の式より得られる平均的な値よりも大きいため、笹谷・他(2006)や壇・他(2006)の方法をそのまま適用すると、地震動評価結果が過小となる可能性があった。しかしながら、短周期レベルを大きくすると、背景領域のすべり量(地震モーメント)が負になって断層パラメータを設定出来なくなることがわかった。そこで、短周期レベルを変更しても断層パラメータの設定が可能となるように、断層面積を平均的な値に保つ条件のままアスペリティ面積を小さくする断層パラメータ設定方法を提案した。

本稿では、新井・他(2013)で提案した断層パラメータ設定方法を用いて、M8クラスのスラブ内地震である1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震の断層モデルを設定し、新井・他(2013)で提案した断層パラメータ設定方法のM8クラスのスラブ内地震への適用性および問題点を確認した。そして、その問題点を克服するための新たな断層パラメータ設定方法の構築を試みた。

1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震の短周期レベルはMorikawa and Sasatani(2004)で求められているが、その値は2011年4月7日のスラブ内地震と同様に、笹谷・他(2006)の式あるいは壇・他(2006)の式によって得られる平均的な値よりも大きいため、笹谷・他(2006)や壇・他(2006)の方法をそのまま適用すると、地震動評価結果が過小となる可能性があった。そこで、新井・他(2013)で提案した方法の適用を試みたが、1994年北海道東方沖地震では短周期レベルが経験式によって得られる平均的な値よりもかなり大きく、それによってアスペリティの面積が極端に小さくなり、不自然な断層モデルとなった。この問題への対処方法として、短周期レベルを大きくしつつ、アスペリティの面積比を笹谷・他(2006)および壇・他(2006)による地震モーメントと短周期レベルの関係式、地震モーメントとアスペリティの面積比の関係式を連立して求められる平均的な値とする方法を示した。この方法では、地震モーメント、短周期レベル、平均的なアスペリティの面積比が与条件となり、結果的に断層面積が笹谷・他(2006)や壇・他(2006)の方法によって設定した平均的な断層モデルよりも小さくなる。また、別の方法として、クラックモデルとする方法も検討した。

そして、笹谷・他(2006)、壇・他(2006)および新井・他(2013)の方法、本稿で提案する方法とクラックモデルとする方法のそれぞれで設定した複数の断層モデルで、1993年釧路沖地震および1994年北海道東方沖地震の地震動評価を経験的グリーン関数法により行い、観測記録との対応を確認した。その結果、1993年釧路沖地震に関しては、笹谷・他(2006)、壇・他(2006)の方法で過小評価となったが、新井・他(2013)の方法、本稿で提案する方法、クラックモデルとする方法では観測記録の説明性が向上した。一方、1994年北海道東方沖地震では、笹谷・他(2006)、壇・他(2006)の方法で過小評価となり、新井・他(2013)の方法、本稿で提案する方法、クラックモデルとする方法では、特に周期0.5秒以下といった短周期で過大評価となった。この原因としては、本検討で用いた、Morikawa and Sasatani(2004)で観測記録より震源スペクトルを推定して求められた短周期レベルは周期0.5秒以下の周期帯を説明するには適切でない可能性が考えられる。実際、Morikawa and Sasatani(2004)の断層モデルより算出される短周期レベルは、観測記録より震源スペクトルを推定して求めた短周期レベルよりも小さい。よって、今後は1994年北海道東方沖地震について、与条件とする短周期レベルを再検討したうえで設定した断層モデルで検討を行う予定である。また、本検討での対象は、太平洋プレートのスラブ内地震に限定しており、フィリピン海プレートについては、今後の課題とする。

キーワード: スラブ内地震, 強震動予測, 断層モデル

Keywords: Intra-slab earthquakes, Strong motion prediction, Fault model

スペクトルインバージョンに基づく宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の震源特性 Source effects of the intraslab and interplate earthquakes in Miyagi-ken-oki region based on spectral inversion

笠谷 直矢¹; 笥 楽磨^{1*}
KASATANI, Naoya¹; KAKEHI, Yasumaro^{1*}

¹ 神戸大・理

¹Faculty of Science, Kobe University

既往の研究より、スラブ内地震は、プレート境界地震に比べ、高周波成分を強く励起する特徴があるとされている。例えば、佐藤 (2004) では、宮城県沖の7つのスラブ内地震と4つのプレート境界地震の加速度震源スペクトルの高周波レベル (以下、単に「高周波レベル」という) を推定している。それによれば、平均的には宮城県沖のスラブ内地震の高周波レベルはプレート境界地震の高周波レベルの約3~4倍であるとしている。他方、加藤・他 (1999) は、やや深発地震の高周波地震波の励起強さを最大加速度値に基づいて検討し、その結果加速度振幅が強くなる条件として、スラブ内地震とプレート境界地震の区分よりも、むしろ震源深さによる影響が顕著に現れることを指摘している。以上のように、スラブ内地震の高周波成分の励起強さの要因をテクトニック環境によるものとするか、震源深さによるものとするかは、研究ごとに様々であり、再考の余地があると考えられる。

本研究では、宮城県沖のスラブ内地震とプレート境界地震の震源特性を評価するため、防災科学技術研究所 K-NET の強震記録に基づき、スペクトルインバージョン解析を行った。また抽出された震源特性からコーナー周波数と地震モーメントを推定し、加速度震源スペクトルの高周波レベルを求めた。

高周波レベルをスラブ内地震とプレート境界地震のテクトニック環境にのみ着目して、比較するに、スラブ内地震の高周波レベルは、プレート境界地震に比べ、約2~3倍程度大きい事が確認された。一方、震源深さに着目して比較するに、大局的に震源の深い地震の高周波レベルが大きく、震源の浅い地震の高周波レベルが小さいという高周波レベルの震源深さ依存性がある事が分かった。ここで注意すべきことは、スラブ内地震の震源深さはプレート境界地震に比べて系統的に深いという点である。さらに、震源深さが同程度のプレート境界地震とスラブ内地震を比較すると、両者の間に高周波レベルの有意な差は見られなかった。これは、同程度の深さを持つ上面と下面のスラブ内地震の間においても同様であった。

以上の事から、本研究では、プレート境界地震に比べ、スラブ内地震の高周波レベルが高いという傾向は、前者に比べ後者の震源が系統的に深いことによる見かけ上のものであり、高周波レベルの大きさはスラブ内地震とプレート境界地震といったテクトニック環境ではなく、震源深さの違いが効いており、深い地震ほど高周波レベルが高いと結論付けた。高周波レベルの差は、約50kmという深さの違いに対し、約4倍であった。

さらに本研究では、高周波レベルの評価に影響を与え得る、震源起因以外の因子として、震源深さによる波形の違いの影響、深さに依存するQ値構造という因子を考え、それらによる影響を定量的に評価した。その結果、それらの因子は結果を揺るがす程の大きなバイアスをもたらし得るとは考えられず、震源が深い地震ほど高周波レベルが高いという解釈が、極めて信頼性の高いものであることを示した。

謝辞：本研究では、防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NET)、基盤強震観測網 (KiK-net) の強震波形データ、F-netメカニズム解のデータ、気象庁一元化震源データを使用させていただきました。記して感謝致します。

キーワード: スペクトルインバージョン, 高周波レベル, スラブ内地震, プレート境界地震, 震源深さ
Keywords: spectral inversion, high-frequency level, intraslab earthquake, interplate earthquake, focal depth

構造物の耐震検討の立場から見た2011年東北地方太平洋沖地震の複数の震源モデルのパフォーマンスの比較 Comparative study of the performance of source models for the 2011 Tohoku earthquake

野津 厚^{1*}
NOZU, Atsushi^{1*}

¹ 港湾空港技術研究所
¹ Port and Airport Research Institute

2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)は、今日のような密な強震観測網(e.g., Kinoshita, 1998)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。この地震の発生により我々はM9クラスの巨大地震による強震動の実態を初めて知ることになったと言える。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、その際の震源のモデル化においては、東北地方太平洋沖地震の強震記録から得られる知見を反映させることが極めて重要と考えられる。その際、強震動予測の目的が構造物の耐震検討である場合には、対象とする構造物に影響を及ぼしやすい周波数帯域の地震動を正確に計算できる震源モデルが求められる。本研究では、今後の強震動予測に用いる震源モデルの選択に資することを目的とし、各々の震源モデルから計算される地震動と、実際に観測された地震動との誤差を、構造物への影響が大きい帯域を中心に定量的に評価し、震源モデルのパフォーマンスに関する定量的な比較を行った。

本研究で対象とした震源モデルは、SPGAモデル(=スーパーアスペリティモデル)(野津他, 2012)、疑似点震源モデル(野津, 2012)、およびSMGAモデル(佐藤, 2012; Asano and Iwata, 2012; 川辺・釜江, 2013)である。SPGAモデルとは、東北地方太平洋沖地震をはじめとする海溝型巨大地震において特徴的な強震動パルスのパルス幅と調和的なサイズのサブイベント(SPGA)から構成される震源モデルであり、サブイベントのサイズは対象地震の場合一辺が数km程度である。一方、SMGAモデルは、より広い領域(対象地震の場合、一辺が数十km程度)からまんべんなく強震動が生成されるとする震源モデルである。これらはいずれも特性化震源モデルの範疇に属するもので、グリーン関数の重ね合わせにより地震動が計算される。それに対して、疑似点震源モデルは、特性化震源モデルよりもさらに単純化された震源モデルであり、各サブイベントに起因する地震動のフーリエ振幅だけが規定される。なお、本地震に対して提案されているSMGAモデルのうちKurahashi and Irikura(2013)のものについては本研究では対象としなかった。その理由は、Kurahashi and Irikuraの震源モデルにおいては、2005/8/16宮城県沖の地震(Mw7.2)の記録の後半部分がグリーン関数として用いられているが、一部の観測点では、記録を前半部分と後半部分に分けることが、著者にとっては困難であったためである。地震動の計算には、基本的に、各々の震源モデルの構築に用いられたのと同様の計算手法を用いた。すなわち、佐藤(2012)のSMGAモデルについては壇・佐藤(1998)の経験的グリーン関数法を用い、Asano and Iwata(2012)、川辺・釜江(2013)によるSMGAモデルについては入倉他(1998)の経験的グリーン関数法を用いた。グリーン関数イベントとして用いた中小地震も、個々の文献に示されたものと同様である。SPGAモデルと疑似点震源モデルについてはそれぞれの文献に示された方法で地震動を計算した。対象地点については、①サブイベントが存在する宮城県から茨城県までの範囲をカバーすること、②地盤の非線形挙動の影響が大きいサイトを避けること、③各々の文献で用いられた中小地震記録が漏れなく観測されていることを念頭に置き10地点を選定した。代表的な地点として、MYGH12における地表NS成分(0.2-1Hz)の比較を図に示す。観測波形には強震動パルスが明瞭に表れており、SPGAモデルではこれを再現できるが、SMGAモデルではこれを再現することができない。野津(2012)と同様の評価式を用い、速度波形(0.2-1Hz)、速度envelope(0.2-10Hz)およびフーリエスペクトル(0.2-10Hz)に関する誤差評価を行ったところ、港湾構造物に対して影響の大きい0.2-1Hzの帯域だけでなく、より高周波成分まで含めても、SPGAモデルおよび疑似点震源モデルの誤差がSMGAモデルより小さいという結果であった。次に、建物被害と対応の良い指標として境・他(2002)により提案されている「1-2秒震度」の計算を行った結果、SPGAモデルは観測波の「1-2秒震度」を概ね再現できているのに対し、SMGAモデルではSPGAモデルに対して2.2倍~3.8倍程度の誤差が生じることがわかった。

以上のように、構造物の地震時挙動に大きく影響すると考えられる強震動パルスを再現できること、建物被害と対応の良い指標である「1-2秒震度」の再現性が良いことなどから、一般的な構造物の耐震検討に用いる地震動を評価するための震源モデルとしてはSPGAモデル(または疑似点震源モデル)が適していると考えられる。謝辞:防災科学技術研究所の強震記録を使用しました。

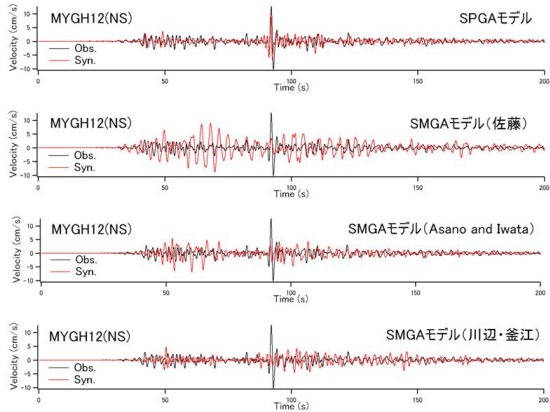
キーワード: 巨大地震, 東北地方太平洋沖地震, 震源モデル, 強震動, SPGAモデル, SMGAモデル

Keywords: mega earthquake, the Tohoku earthquake, source model, strong ground motion, SPGA model, SMGA model

SSS23-04

会場:211

時間:5月1日 09:45-10:00



速度波形の計算結果の例 (MYGH12の地表NS成分) (バンドパスフィルタ0.2-1Hz)

疑似点震源モデルによる2003年5月26日宮城県沖スラブ内地震の強震動シミュレーション

A pseudo point-source model for off Miyagi intraslab earthquake on May 26, 2003

若井 淳^{1*}; 長坂 陽介¹; 野津 厚¹

WAKAI, Atsushi^{1*}; NAGASAKA, Yosuke¹; NOZU, Atsushi¹

¹ 港湾空港技術研究所

¹Port and Airport Research Institute

最近の研究で、既往の特性化震源モデルをさらに単純化した疑似点震源モデルが提案され、2011年東北地方太平洋沖地震への適用性が確認されている。単純化の要点は、強震動の生成に関わる各々のサブイベントに対し、その内部におけるすべりの時空間分布を詳細にはモデル化せず、各々のサブイベントが生成する震源スペクトルのみをモデル化するという点である。今後、疑似点震源モデルの活用を目指す場合、他の代表的な地震への適用性を検証することは重要である。本検討では、2003年5月26日に発生した宮城県沖のスラブ内地震を例に、疑似点震源モデルの適用性を検討した。その結果、波形およびフーリエスペクトルともに特性化震源モデルと同等の再現性を有することを確認した。

キーワード: 疑似点震源モデル, スラブ内地震, 強震動, 2003年宮城県沖地震

Keywords: pseudo point-source model, intraslab earthquake, strong ground motion, the 2003 off Miyagi earthquake

疑似点震源モデルによる2005年7月23日千葉県北西部地震の強震動シミュレーション Strong ground motion simulation for the July 23, 2005 northwestern Chiba earthquake by pseudo point-source model

長坂 陽介^{1*}; 野津 厚¹; 若井 淳¹
NAGASAKA, Yosuke^{1*}; NOZU, Atsushi¹; WAKAI, Atsushi¹

¹ 港湾空港技術研究所

¹Port and Airport Research Institute

1. はじめに

各研究者によって提案されている地震動予測手法を比較するためのベンチマークテストが行われている(久田他, 2013)。2013年度は首都直下地震として2005年7月23日の千葉県北西部地震(Mj6.0)が対象となった。ベンチマークテストは大きく分けて理論的手法、統計的手法によるものに分かれるが、既定の手法の他に、参加者独自の手法による参加も可能である。本検討では疑似点震源モデル(野津, 2012)による震源モデルを作成し、強震動シミュレーションを行った。

2. 疑似点震源モデル

疑似点震源モデルは、震源において強震動を発生させる各サブイベントでのすべりの時空間分布を詳細にはモデル化せず、サブイベント全体としての震源スペクトルをオメガスクエアモデルに従う形で与えることが特徴である。この単純化には大きく2つの理由がある。1: 観測地震動のフーリエ位相は伝播経路特性とサイト増幅特性により決まっていることが多いこと。2: サブイベントを分割し、重ね合わせる手法では合成波形のフーリエ振幅に人為的な山谷が生じることが多いが、海溝型巨大地震の際の岩盤サイトでの観測フーリエ振幅は山谷が少ない。つまり、サブイベント全体としての地震動がオメガスクエアモデルに従うとした方が観測をうまく説明できる可能性があること。疑似点震源モデルは海溝型地震だけでなくいくつかの内陸地殻内地震などにも適用されており、良好な結果を得ている。

既往の研究(野津, 2012)では、各サブイベントに与えるパラメータを緯度、経度、深さ、地震モーメント、コーナー周波数、破壊時刻の6つとし、平均的なラディエーションパターン係数を用いていたが、本検討では、ラディエーションパターンの影響についても検討するため、走向、傾斜、すべり角を震源パラメータに加えた。そして、ラディエーションパターンは、震源距離と波長に依存するものとし、遠距離の場合または短波長の場合に平均値に近づくものとした。そして、理論的なラディエーションパターンが距離と共に失われていく遅さを規定するパラメータとして新たに Q_R を設定している。

3. 得られたモデル

震源位置とメカニズムは額田・三宅(2005)を用いた。地震モーメント、震源付近の地盤密度、S波速度はF-netよりそれぞれ 9.11×10^{17} Nm, 3.2g/cm^3 , 4.46km/s とした。伝播経路のQ値は $100^{0.7}$ (中央防災会議・東海地震に関する専門調査会, 2001)、コーナー周波数と Q_R は時刻歴速度波形とフーリエスペクトルが合うように試行錯誤的に決定し、それぞれ 0.75Hz , 10π とした。 $Q_R=10\pi$ で震源距離80kmのとき、ラディエーション係数は2Hz以上ではほぼ平均値となり、 0.4Hz で理論値と平均値の間となる。

サイト増幅特性は野津・長尾(2005)によるものを用いたが、K-NET, KiK-net以外の観測点は設定されていないため、いくつかの地点では今回新たに評価を行った。まず観測記録が利用可能な観測点(建築研究所の観測点)では、近隣K-NET, KiK-net観測点の記録との加速度フーリエスペクトル比をとり、それを近隣K-NET, KiK-net観測点のサイト増幅特性に乗じることで設定した。UR観測点など観測記録が利用できない場合は、まずSK-netなど近隣の記録が利用可能な観測点に対して上記の方法でサイト増幅特性を設定した。次に両地点で微動観測を実施し、H/Vスペクトルの比較を行い、ピーク周波数がずれていればサイト増幅特性を対数軸上で周波数方向にシフトするなどの補正を行い設定した。

フーリエ位相は地点により以下の3つのうちいずれかを用いている。いずれも本震以前の地震となる。1: 1997年7月9日 18:36, 2: 2002年5月19日 05:00, 3: 2004年8月8日 03:23。

以上により得られた再現結果の加速度フーリエスペクトルの例を図に示す。

謝辞: 防災科学技術研究所, 建築研究所, SK-netの強震記録を利用しました。

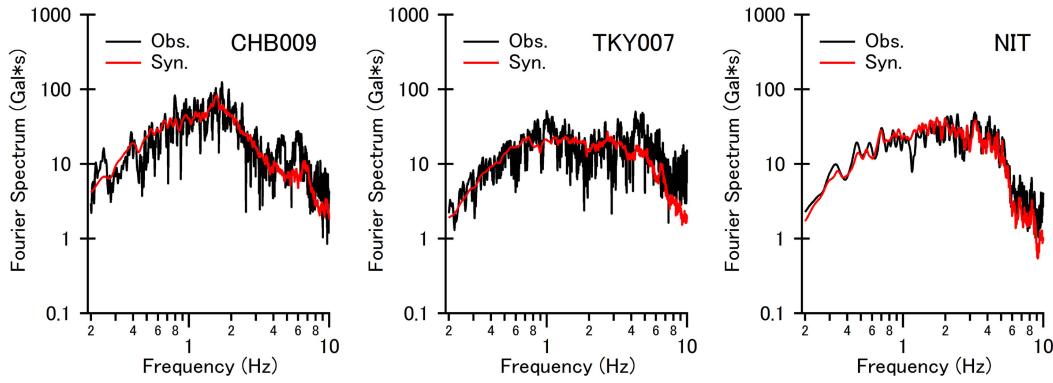
キーワード: 疑似点震源モデル, ベンチマークテスト, 2005年千葉県北西部地震, 放射特性, サイト増幅特性

Keywords: pseudo point-source model, benchmark test, the 2005 northwestern Chiba earthquake, radiation pattern, site amplification factor

SSS23-06

会場:211

時間:5月1日 10:15-10:30



Comparison of acceleration fourier spectrum
(CHB009 and TKY007: K-NET station, NIT: BRI station)

ボーリングデータ解析による浅部地下地質構造の統合型三次元グリッドモデリング： 東京低地北部から中川低地南部の例 Three-dimensional grid modeling based on analysis of borehole data

木村 克己^{1*}; 花島 裕樹²; 西山 昭一³; 石原 与四郎⁴; 関口 春子⁵

KIMURA, Katsumi^{1*}; HANASHIMA, Yuki²; NISHIYAMA, Shoichi³; ISHIHARA, Yoshiro⁴; SEKIGUCHI, Haruko⁵

¹産業技術総合研究所, ²スマートソリューション株式会社, ³応用地質株式会社, ⁴福岡大学, ⁵京都大学防災研究所

¹AIST, Geological Survey of Japan, ²Smart Solution Corporation, ³OYO Corporation, ⁴Fukuoka University, ⁵Kyoto University

地盤調査のボーリングデータに基づいて、地震応答特性評価の基礎となる浅部の地下地質構造モデルの高精度化を目的に、統合型三次元グリッドモデル構築手法を整理し、実際に東京低地北部から中川低地南部域をモデル地域として適用を行った。本研究の三次元モデリング手法の特徴は、①木村ほか(2013)に基づいて、ボーリングデータ解析で得た沖積層基底層準のポイントデータに加えて、埋没地形平坦面の成り立ちを考慮した制約条件を用いてデータの空白域を補填することで、沖積層基底面モデルを構築すること、②ボーリングデータから岩相とN値の三次元グリッドモデルを求める江藤ほか(2008)の手法を基礎にし、①で求めた沖積層基底面モデルの上位と下位にモデル領域を分割して計算し、その後両者を統合することで、岩相とN値の三次元グリッドモデルを構築する手法を開発したこと、である。グリッドのサイズは水平125m四方、垂直1mである。

この岩相とN値の統合型グリッドモデリング手法は、堆積平野域の浅部地盤で最大の物性境界である沖積層基底面の構造をモデルに反映することができる。その結果、本モデルでは、埋没谷の壁を境に軟弱な沖積層の泥層と堅い更新統の砂層とが隣接する岩相・物性の急激な側方変化が表現されている。そして、沖積層とその基盤となる更新統の区分、岩相・N値・深度を変数として、太田・後藤(1978)などの経験式を用いて、S波速度と密度の物性地盤モデルに変換できることから、地質学的な表現に加えて、地震応答特性評価に用いる地盤モデルとして有用である。

文献

江藤稚佳子ほか(2008)地質学雑誌,114,187-199; 木村克己ほか(2013)地質学雑誌,119,537-553; 太田 裕・後藤典俊(1978)物理探鉱,31,8-17.

キーワード: 三次元モデル, 浅部地盤, グリッドモデル, 沖積層基底面, 東京低地, ボーリングデータ

Keywords: 3D model, ground, grid model, basal surface of the Chuseki-so, Tokyo lowland, borehole data

南西諸島における強震動シミュレーションのための3次元地下構造モデル Three-dimensional structure model for modeling strong motion around the Ryukyu arc

藤岡 慧¹; 竹中 博士^{2*}; 山田 伸之³; 中村 武史⁴; 岡元 太郎⁵; 藤原 広行⁶

FUJIOKA, Akira¹; TAKENAKA, Hiroshi^{2*}; YAMADA, Nobuyuki³; NAKAMURA, Takeshi⁴; OKAMOTO, Taro⁵; FUJIWARA, Hiroyuki⁶

¹九州大学, ²岡山大学, ³福岡教育大学, ⁴海洋研究開発機構, ⁵東京工業大学, ⁶防災科学技術研究所

¹Kyushu Univ., ²Okayama Univ., ³Kyushu Univ. of Education, ⁴JAMSTEC, ⁵Tokyo Institute of Technology, ⁶NIED

The Ryukyu Islands have frequently been damaged by large earthquakes and tsunamis since ancient times. For instance, in 1771, gigantic tsunamis are occurred from an earthquake and more than 12000 people died in Yaeyama Islands. From the point of view of disaster prevention, it is also important to improve the precision of strong ground motion prediction. Here we build a 3D numerical structure model for modeling of strong ground motion, which includes land and ocean-bottom topographies and a seawater layer as well as subsurface structures of the arc side and the PHS slab, partially based on the J-SHIS model for near-surface structure (NIED) and a slab-top depth model of the PHS (Headquarters for Earthquake Research Promotion, Japan). We then try to improve the near-surface structure model in the islands using our original microtremor surveys. We also conduct numerical simulations of seismic motions for three sub-oceanic earthquakes occurring near the Amami Islands, Okinawa Island and Miyako Island to confirm the applicability of the constructed structure model and to check the improvement of the near-surface model.

キーワード: 南西諸島, 強震動, シミュレーション

Keywords: Ryukyu arc, strong motion, simulation

立川断層帯周辺の3次元深部地盤構造モデルの構築と地震動シミュレーション 3-D sedimentary layers model and simulation of seismic motions around the Tachikawa fault zone

佐口 浩一郎^{1*}; 地元 孝輔¹; 山中 浩明¹
SAGUCHI, Koichiro^{1*}; CHIMOTO, Kosuke¹; YAMANAKA, Hiroaki¹

¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究科

¹ Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

首都圏では立川断層等による活断層による被害地震の発生が危惧されるため、精度の高い強震動予測が必要とされる。高精度な強震動予測を実施する場合、3次元シミュレーションのための地下構造モデルが必要となる。すでに首都圏では地震調査研究推進本部の「長周期地震動予測地図」(以下、推本モデル)等により3次元地下構造モデルが構築されつつあるが、観測記録に基づくモデル精度の確認が必要とされている。

本研究では、立川断層帯周辺地域で微動アレイ観測および微動単点観測を実施し、立川断層帯周辺のK-NET, KiK-netおよびSK-netによる観測点におけるレシーバー関数とレイリー波位相速度との同時逆解析およびH/Vスペクトルを用いて深部地盤構造を推定することにより、基盤の段差構造を含めたより詳細な3次元深部地盤構造モデルの構築を行った。さらに構築した3次元深部地盤構造モデルと推本モデルを用いて3次元差分法解析により2012年1月28日に発生した山梨県東部の地震の地震動シミュレーションを行った。

2. 微動アレイおよび微動単点観測

微動アレイ観測は立川断層帯周辺における12地点により実施した。各観測点ではそれぞれ半径1.5~2km程度と0.4~0.5km程度の大アレイおよび小アレイでの観測を行い、観測時間は大アレイで60分間、小アレイで30分間である。微動単点観測は立川断層帯を横切る9測線において、各測線30~34地点、特に断層近傍の1km以内では100m程度の間隔による高密度な観測を行った。観測時間は断層近傍の1km以内の観測点では10分間、その他の観測点では5分間である。得られた微動アレイ記録によるF-K法解析から、周期0.5秒~5秒の間で概ね0.5~2.5km/sの分散性を有する位相速度が得られた。また、微動単点観測記録のノイズの少ない81.92秒間のデータによる10~15区間のデータから求めたH/Vスペクトルでは、立川断層の西側ではH/Vスペクトルの卓越周期は概ね2~3秒程度であるのに対し、断層の東側では卓越周期は7秒以上と長くなっていた。さらに立川断層のごく近傍1km以内では西から東に向かってH/Vスペクトルの卓越周期が3秒から10秒へと長周期側に急激に推移しており、断層のごく近傍の1kmの範囲内で急激に地下構造が変化していることが推測された。

3. 立川断層帯周辺における3次元深部地盤構造モデルの構築

微動アレイ観測点近傍1km以内にK-NET等による地震観測点がある場合にはレイリー波位相速度とレシーバー関数による同時逆解析を行った。同時逆解析には焼きなまし法を用い、探索パラメータを V_p (P波速度)、 V_s (S波速度)および H (層厚)とし、探索範囲は V_p と V_s では推本モデルの±200m/s、 H では推本モデルの1~200%とした。その他の地震観測点では、同時逆解析結果による速度構造を用いてレシーバー関数による単独逆解析を行うことにより、また、立川断層帯のごく近傍の微動単点観測点では微動アレイ観測点の観測H/Vスペクトルの卓越周期に対する各観測点の卓越周期の比を、微動アレイ観測点において推定した深部地盤構造の層厚に乗じることにより深部地盤構造を推定した。推定した各観測地点の1次元深部地盤構造より、立川断層帯周辺においてS波速度0.5km/s、0.9km/s、1.5km/sおよび2.4km/sの堆積層と3.2km/sの地震基盤から構成される3次元深部地盤構造モデルを構築した。構築した3次元深部地盤構造モデルでは、立川断層の中央部から南部にかけての地域では、地震基盤は南西から北東に向かい急激に深くなっており、特に立川断層の中央部においては1.7kmの地震基盤の落差を有している。

4. 3次元差分法による地震動シミュレーション

2012年1月28日に発生した山梨県東部の地震($M_j=5.4$)では、立川断層中央部の北東に位置する観測点(TKY2200:SK-net)では最大加速度および最大速度は 46.8cm/s^2 (3成分合成)および 1.4cm/s であり、立川断層の南西に位置する観測点に比べて6~7倍程度振幅が大きい地震動が観測されている。したがって、構築した3次元深部地盤構造モデルの妥当性を検証するために、3次元差分法による地震動シミュレーションを実施した。3次元シミュレーションでは、震源を含む南北70km×東西60km×深さ50km程度を対象として、100m格子によりモデル化した。なお、10km以深における地殻・マントルは推本モデルをそのまま使用している。また、3次元解析の対象範囲は周期1秒以上とした。解析の結果、各観測点における観測記録との整合性は概ね調和的であり、特に推本モデルでは再現できていない断層の北東側で急激に地震動が大きくなる現象を再現することができ、構築した3次元深部地盤構造モデルの妥当性を示すことが出来た。

謝辞

本研究は、文部科学省「立川断層帯における重点的調査観測」を受けて実施されました。また、本研究ではKiK-net, K-NETおよびSK-netの地震観測記録を使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

SSS23-09

会場:211

時間:5月1日 11:15-11:30

キーワード: 立川断層帯, 微動アレイ探査, レイリー波位相速度, 3次元深部地盤構造, 3次元差分法

Keywords: Tachikawa fault zone, array microtremor exploration, Rayleigh wave phase velocity, 3-D sedimentary layers model, 3-D finite difference method

DETERMINATION OF S-WAVE VELOCITY STRUCTURE BY MICROTREMOR ARRAY OBSERVATION IN TEKIRDAG AND ZEYTINBURNU (TURKEY)
DETERMINATION OF S-WAVE VELOCITY STRUCTURE BY MICROTREMOR ARRAY OBSERVATION IN TEKIRDAG AND ZEYTINBURNU (TURKEY)

KARAGOZ, Ozlem^{1*} ; CITAK, Seckin ozgur² ; CHIMOTO, Kosuke¹ ; YAMANAKA, Hiroaki¹ ; OZEL, Oguz³ ; YALCINKAYA, Esref³ ; ZANEIH, Hussam¹ ; ASKAN GUNDOGAN, Aysegul⁴ ; KAOURU, Kojima¹ ; TOMOHIRO, Tsuchiya¹ ; AKSAHIN, Behiye³ ; ILKAY, Sena³ ; SISMAN DERAN, Fatma⁴
KARAGOZ, Ozlem^{1*} ; CITAK, Seckin ozgur² ; CHIMOTO, Kosuke¹ ; YAMANAKA, Hiroaki¹ ; OZEL, Oguz³ ; YALCINKAYA, Esref³ ; ZANEIH, Hussam¹ ; ASKAN GUNDOGAN, Aysegul⁴ ; KAOURU, Kojima¹ ; TOMOHIRO, Tsuchiya¹ ; AKSAHIN, Behiye³ ; ILKAY, Sena³ ; SISMAN DERAN, Fatma⁴

¹Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), ³Istanbul University, Department of Geophysical Engineering, Turkey, ⁴Middle East Technical Uni., Dept. of Civil Engineering and Dept. of Earthquake Studies, Turkey

¹Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), ³Istanbul University, Department of Geophysical Engineering, Turkey, ⁴Middle East Technical Uni., Dept. of Civil Engineering and Dept. of Earthquake Studies, Turkey

The use of environmental vibration recordings (microtremors) is cost effective and easily collected data for site characterization that is a component of microzonation mapping and has become very popular around the world in the last years.

Local site conditions have a major effect on the level of ground shaking. For this reason we carried out microtremor measurements by using circular small array configuration at twenty one locations in Tekirdag, four locations in Zeytinburnu and one location in Yesilkoy. In addition to eight large array measurements for estimating S-wave velocity structures of shallow deeper soil formations for site effect analysis. These sites were selected by considering the different geological units (i.e. recent landfill, clay stone, silt stone, alluvium, lime stone, sand) in the cities. We also collected data on five buildings in Tekirdag in order to understand dynamics properties of buildings.

We estimated the phase velocities of Rayleigh waves at each site from the vertical components of recorded microtremor data by using Spatial Autocorrelation (SPAC) method. Obtained phase velocity dispersion curves are varied from area to area. The obtained phase velocities range from 100 m/s to 750 m/s along the coastline in Tekirdag while, they range from 200 m/s to 500 m/s for Zeytinburnu area.

Genetic Simulated Annealing Algorithm technique was applied for inversion of phase velocities to estimate 1-D S-wave velocity structures beneath the sites. The inverted Vs profiles are not uniformed. The preliminary results show that similar phase velocity changes have been seen at the low and the high periods on the different geological units along the parallel direction of the coastline. When we check the velocity changes from coastline toward the inland, we can see the different phase velocities on the different geological units.

キーワード: Microtremor, Spac, S-wave velocity, Tekirdag, Zeytinburnu, Turkey

Keywords: Microtremor, Spac, S-wave velocity, Tekirdag, Zeytinburnu, Turkey

東北地方太平洋沖地震時の京浜地域の長周期地震動特性 Characteristics of long-period strong ground motion in the Keihin-area during the 2011 Tohoku earthquake

植竹 富一^{1*}
UETAKE, Tomiichi^{1*}

¹ 東京電力株式会社
¹ Tokyo Electric Power Company

東北地方太平洋沖地震により京浜地域で観測された地震動では、首都圏で卓越が指摘される周期7~8秒については顕著なピークは見られなかった。一方、周期2~3秒については顕著な卓越が見られ、特に海岸線に沿った観測点では、減衰5%の速度応答スペクトルで、100cm/sを越す応答が見られた [例えば、津野・他(2012)]。京浜地域で観測された加速度波形の振幅は、S波初動から徐々に大きくなり、最大値は約2分後に生じ、その後小さくなっていく。最大速度応答が発生する時間帯を調べると、周期2~3秒の最大速度応答値は、加速度包絡線が最大となる時間帯で生じており、波形前半の影響が大きいと考えられる。

入射地震波の伝播性状を調べるために、京浜地域で観測された記録を用いて位相速度の評価を試みた。選定した観測点は、植竹(2012)が、周期7~8秒の伝播性状の検討に用いた観測点6点に、K-NET、東大地震研の強震観測点、気象庁、東京都、横浜市の震度観測点を加え16点とした。長径約18km、短径9kmの長径が震央方向を向いた楕円形となる。また、アレイサイズの比較のため横浜市鶴見区周辺の観測点7点で構成したアレイでも解析を行った。こちらは直径約7kmの円に収まる範囲である。

解析は、観測点共通で記録が得られている時間帯とし、KNG001の記録を目安に記録開始から240秒間とした。波動伝播解析は、バンドパスフィルター波形にセンブランス解析 [Neidel&Taner(1971)] を適用し、スローネス平面の最大ピークから位相速度と到来方向を求めた。バンドパスフィルターは、中心周期を1, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20秒とし、中心周期の逆数(中心周波数)に対して±20%の幅を持つフィルターとした。解析の時間長は20秒として、10秒ずつずらして解析を行い時間帯による変化を検討した。なお水平動波形は、平均的な震央方向に対してRadial-Transverse変換し、解析にはTransverse成分と上下動成分を用いた。

波形の相関性を示すセンブランス値は、短周期になるほど小さくなり、周期2秒、1秒の場合0.5以下の数値となった。また、全体アレイと鶴見区アレイを比較するとアレイが大きいほど小さい傾向がわかる。センブランス値の時間的な変化を見ると、加速度振幅が徐々に大きくなる波形前半部に比べ、加速度が小さくなる後半部に入ると急に小さくなる。センブランス値の時間的な変化と同時に、推定される位相速度や伝播方向にも変化が見られる。波形前半では、水平動・上下動とも震央方向から3km/sを越す速い速度での伝播を示すが、後半部では様々な方向からより遅い速度での伝播を示している。この傾向は短周期側で顕著である。なお、上下動の7~10秒では、震央方向から90度南側にずれた南東方向からの伝播が顕著となり盆地構造を反映している可能性がある。関東平野の地下構造モデルから推定される川崎付近の表面波の位相速度と比較すると、前半部の位相速度との対応は悪いが、後半部の遅い時間帯の解析結果に関しては、Transverse成分は基本モードのLove波、上下成分は基本モードのRayleigh波の位相速度と対応が見られた。なお、これらの傾向は、植竹(2013)が東京低地部のアレイ解析結果で確認した傾向と同様である。

以上、加速度波形の性状とセンブランス解析の結果から解釈すると、周期2~3秒の最大応答を生じさせた波動成分は、基本モードの表面波ではなく実体波である可能性が高いと考えられる。

解析には、東京電力、防災科研のK-NET、東京大学地震研究所、気象庁、東京都、横浜市の強震観測データを使用いたしました。記して感謝いたします。

キーワード: 長周期地震動, 2011年東北地方太平洋沖地震, センブランス解析, 位相速度, 京浜地域

Keywords: Long-period strong ground motion, the 2011 Tohoku earthquake, Semblance analysis, Phase velocity, Keihin area

2011年東北地方太平洋沖地震による大阪堆積盆地での長周期地震動の特徴 Characteristics of Long-period Ground Motion in the Osaka Sedimentary Basin due to the 2011 Great Tohoku Earthquake

佐藤 佳世子^{1*}; 岩田 知孝¹; 浅野 公之¹; 久保 久彦¹; 青井 真²
SATO, Kayoko^{1*}; IWATA, Tomotaka¹; ASANO, Kimiyuki¹; KUBO, Hisahiko¹; AOI, Shin²

¹ 京都大学 防災研究所, ² 独立行政法人 防災科学技術研究所

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

2011年3月11日14時46分に2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が、15時15分にその最大余震である2011年茨城県沖地震(Mw7.7)が発生した。これらの地震の震源から550~800km程離れた大阪堆積盆地内、特に大阪湾岸では大振幅の長周期地震動(2~10秒)が観測された。この地震動の特徴を調べるため、まず大阪盆地内外の地震動記録を可能な限り収集して解析を行った。これまでの研究から、大阪盆地内では厚く柔らかい堆積層の影響で長周期地震動の振幅が増幅し、継続時間が伸長する事が知られている。本研究対象の地震でも、盆地内の堆積層観測点での記録と盆地外の岩盤観測点での記録を比較する事で同様の特徴を確認できた。また、長周期地震動の振幅や卓越周期を地域毎に見ると、最大振幅が観測された大阪湾岸地域では周期7秒程度が卓越、次いで生駒山地と上町台地に挟まれた河内盆地では周期5~6秒の地震動が卓越した。一方、上町台地上での卓越周期は3秒程度で、振幅も湾岸地域に比べると小さかった。また、堆積層の影響がないと考えられる岩盤観測点においても2~10秒の周期帯では周期7秒程度の地震動がほかの周期に比べて大きくなっていった。

さらに、大阪盆地内で最大振幅の長周期地震動が観測された観測点の卓越周期である周期7秒の擬似速度応答スペクトルを大阪盆地外のそれと比較したところ、本震、最大余震ともに、大阪湾岸地域での応答値が関東平野での応答値に匹敵していた事がわかった。この周期7秒の距離減衰の特徴を調べたところ、関東平野、濃尾平野、大阪盆地の堆積層観測点で同程度の距離にも関わらず、観測点によって応答値が異なっており、特に大阪盆地内では最大30倍近い差が見られた。濃尾平野-大阪盆地間の岩盤観測点で、経験式(片岡ほか, 2008)から予測される応答値よりも大きな値が観測された。

以上から、観測された大阪盆地での大振幅の長周期地震動に対して、大阪盆地の堆積層特性だけでなく、震源から大阪盆地までの伝播経路特性も無視できないと考えられる。

観測された大振幅の長周期地震動の成因を調べる為に、差分法(Aoi and Fujiwara, 1999)を用いて震源から大阪盆地までの周期4~10秒の地震波動場の再現を試みた。計算領域は730km(東西)×330km(南北)×100km(深さ)で、堆積層を含む領域の格子間隔は水平200m、鉛直100mとした。地下構造モデルは全国一次地下構造モデル(Koketsu et al., 2008, 2012)を基に構築した。最小S波速度は350m/sで、それゆえ最小計算有効周期は3秒である。最大余震の震源モデルには震源近くのKiK-net CHBH14の地表観測点で波形が合うように推定したモーメント時間関数をもつ点震源を使用した。濃尾平野から大阪盆地に至る地域での地震動の特徴や、関東平野、濃尾平野、大阪盆地の堆積層での地震動の振幅の増幅と継続時間の伸長など観測記録の特徴が定性的に再現できた。ただし、周期別に見ると、大阪盆地内では周期7秒の地震動の振幅がやや過小評価となった。

この結果を踏まえて、本震時の長周期地震動シミュレーションを行った。計算領域は730km(東西)×400km(南北)×100km(深さ)で、格子間隔及び地下構造モデルは最大余震と同様である。震源モデルとしてはAsano and Iwata (2012)で推定された、周期0.1~10秒の地震動を説明する4つの強震動生成領域(SMGA)のうち福島県沖~茨城県沖に位置する2つのSMGAの重心位置と破壊開始時刻に点震源を仮定した。大阪湾岸などで観測波形に見られた大振幅の波群の到来を概ね再現する事ができた。大阪盆地での大振幅の長周期地震動は、主としてそれら2つのSMGAを震源とする地震動が伝播経路特性、盆地特性により増幅されて生成されたと考えられる。

謝辞

本研究では、独立行政法人 防災科学技術研究所による強震観測網(K-NET)、基盤強震観測網(KiK-net)、広帯域地震観測網(F-net)、関西地震観測研究協議会、独立行政法人 建築研究所、気象庁、大阪府の強震波形記録を使用いたしました。記して感謝申し上げます。

南海トラフの海溝型巨大地震を対象とした長周期地震動ハザード評価 Long-period ground motion evaluation for the Nankai Trough megathrust 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

南海トラフのプレート境界ではマグニチュード8級の海溝型巨大地震が繰り返し発生しており、強震動や津波によって甚大な被害が引き起こされてきた。一方で、海溝型巨大地震では震源から遠く離れた平野や盆地においても高層ビルや石油タンクなどの長大構造物が長周期地震動による被害を受けることが知られている。南海トラフ沿いの大都市は平野上に発達しており、南海トラフの海溝型地震に対しては強震動と津波の評価のみならず長周期地震動の評価も重要である。「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について」[地震調査委員会(2013);以下、長期評価と略す]では、2011年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえ、過去に発生したことが確認されていないものの現在の科学的知見に基づいて推定される最大クラスの地震も含めた地震の多様性が考慮されている。将来発生する地震として多様な震源モデル(シナリオ)が想定される中では、少数に限られたシナリオのみを考慮した地震動の評価では不十分であり、ある地点に対して影響を及ぼす全ての地震を考慮して、その地点が大きな地震動に見舞われる危険度を評価する地震ハザード評価が有効だと考えられる。Maeda et al. (2013)では、南海トラフで従来想定されてきた単独型・連動型の地震や、長期評価で示された最大クラスの地震を対象として、震源域、アスペリティ(強震動生成域)配置、破壊開始点などを変えた100ケース程度の震源モデルに基づいた長周期地震動シミュレーションを行い、予測結果が極めて大きなばらつきを持つことを示した。本検討ではこれまでの検討を踏まえ、長周期地震動ハザード評価に向けた検討として、さらに多数のシミュレーション結果に基づいた統計的な評価を試行する。

震源モデルの違いによる長周期地震動のばらつきを把握することを目的として、南海トラフの地震を対象として300ケース超の震源モデルを設定し3次元差分法による長周期地震動シミュレーションを行った。震源域については、長期評価と同様に最大クラスの震源域を走向方向に6区分、深さ方向に3区分した小領域に分割し、それらの組合せとしてマグニチュード8級から最大クラスまでの15パターンの震源域を設定した。また、これまでの検討から、長周期地震動は破壊開始点とアスペリティ配置による破壊の指向性の影響を強く受けることから、これらについての不確実性を考慮した。さらに、トラフ沿いの浅い領域に対しては、震源時間関数や破壊伝播速度を変えることで長周期地震動の励起強さについての不確実性を考慮した。長周期地震動の計算に用いる特性化震源モデルの各パラメータは、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシピ)」(地震調査委員会、2008)に従って設定した。計算に用いる地下構造モデルは、全国1次地下構造モデル(暫定版)(地震調査委員会、2012)に「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の成果(東京大学地震研究所・他、2012)をもとにフィリピン海プレート上面構造の修正を施したもとのから、南西部に九州全域、北部に新潟平野までが含まれる範囲(東西1150km、南北950km、深さ100km)を切り出したものとした。長周期地震動の計算はGMS(青井・他、2004)により行い、計算により得られる工学的基盤上での最大地動速度値、速度応答スペクトルに基づいてばらつきの評価を行う。全ケースについての結果からは、地点により数10倍から100倍程度の振幅のばらつきがみられる。また、震源域の東方延長上に位置する関東平野内では、濃尾平野や大阪平野等よりもばらつきが大きい傾向がみられる。結果を震源域毎に分離すると、地震規模の大きな地震ほど振幅が大きい傾向も認められる。さらに、震源域毎に複数の計算結果が得られることから、震源域毎の平均的なシナリオや一回り大きなシナリオを地点ごとに抽出したり、確率的な地震動予測地図(地震調査委員会、2013)で設定されている「重み」を考慮することで、全ケースについての平均的なシナリオなどを地点ごとに抽出することを試みる。

謝辞:本研究は、「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」による。また、本研究の一部は、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点、および、革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラの支援による。

キーワード: 南海トラフ, 長周期地震動, 海溝型巨大地震, ハザード評価, GMS

Keywords: Nankai Trough, long-period ground motion, megathrust earthquake, hazard assessment, GMS

相模トラフの海溝型巨大地震を対象とした長周期地震動ハザード評価に向けた検討 Long-period ground motion evaluation for the Sagami Trough megathrust earthquakes

森川 信之^{1*}; 前田 宜浩¹; 岩城 麻子¹; 今井 隆太²; 青井 真¹; 藤原 広行¹
MORIKAWA, Nobuyuki^{1*}; MAEDA, Takahiro¹; IWAKI, Asako¹; IMAI, Ryuta²; AOI, Shin¹; FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所, ² みずほ情報総研

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Mizuho Information & Research Institute, Inc.

将来発生する地震に対して、少数のシナリオに基づく地震動予測では不十分であり、不確実性および発生頻度を考慮したハザード評価を行うことが重要である。Iwaki et al. (2013) では、主に大正関東地震に相当する震源域を対象として、アスペリティ（強震動生成域）や破壊開始点位置の不確実性、および破壊伝播速度やすべり方向の不均質性の長周期地震動への影響を調べた。ここでは、その結果を踏まえた長周期地震動ハザード評価に向けた検討として、不確実性が大きいと考えられ、かつ長周期地震動への影響が特に大きい、アスペリティおよび破壊開始点の位置を変えた多数の震源モデルによる長周期地震動シミュレーションを行い、その結果を統計的に評価することを試みた。

マグニチュード 8 クラス以上の巨大地震を対象として、震源域、アスペリティおよび破壊開始点の位置を変えた 150 ケース以上の震源モデルについて、差分法による長周期地震動シミュレーションを行った。震源域については、Iwaki et al. (2013) による設定を基本としつつ、首都直下地震モデル検討会 (2013) による大正地震および元禄地震に相当するモデルを含む 10 パターンに変更した。結果として、地震の規模の範囲はモーメントマグニチュード (Mw) で 7.9~8.6 となっている。震源モデルは特性化震源モデルとし、地震調査委員会の震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）に従ってそれぞれの震源パラメータを設定した。地下構造モデルは、全国 1 次地下構造モデル（暫定版）（地震調査委員会、2012）にフィリピン海プレート上面構造を修正したものをを用いた。差分法の計算は GMS（青井・他、2004）により行った。長周期地震動ハザード評価として、工学的基盤上の最大速度および速度応答スペクトル（周期 5 秒、7 秒、10 秒）について、10 パターンの震源域ごとに平均値や大きめ (+1σ; σ は標準偏差) を求めるとともに、各パターンに対して発生頻度に対応するような「重み」を仮定して重ね合わせることを試みた。

今回の検討では多くの震源モデルを設定したものの、相模トラフの巨大地震に対する不確実性すべてを網羅できていないわけではなく、さらに多くの震源モデルによる検討が今後も必要である。一方で、相模トラフの地震に関しては、マグニチュード 8 クラスの震源域が首都圏直下まで広がることや、今回対象としなかったマグニチュード 7 クラスの地震の発生が切迫しているとされていることから、今後は短周期地震動も含めた広帯域地震動ハザード評価を進める必要がある。

キーワード: 長周期地震動, ハザード評価, 相模トラフ, 海溝型巨大地震, GMS

Keywords: long-period ground motion, seismic hazard assessment, Sagami Trough, megathrust earthquake, GMS

長距離を対象とした長周期地震動の距離減衰式の提案—F-net 記録に基づく幾何減衰項の距離依存に着目した検討—
Empirical ground motion model for long period motions and for long distance -Distance dependent geometrical spreading term

元木 健太郎^{1*}; 加藤 研一¹
MOTOKI, Kentaro^{1*}; KATO, Kenichi¹

¹ 小堀鐸二研究所
¹ Kobori Research Complex Inc.

長周期帯域を対象とした距離減衰式は、佐藤・他 (2012)、片岡・他 (2008)、湯沢・工藤 (2011) 等によって提案されており、それらの式の作成には震央距離が 500km までの観測記録が用いられている。一方、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に、震源距離が 700km を超える大阪市咲洲において市庁舎内に地震被害が発生し、より長距離に適用可能な距離減衰式も望まれている。また適用範囲が 500km 以内に限られると、南海トラフで発生する地震に対する関東平野の予測には、震源の一部が適用範囲を超える。南海トラフの地震に対する関東平野の理論的手法による予測は、5%の応答スペクトルで 100cm/s を大きく上回る結果も得られており (森川・他, 2013)、多種の予測による比較を行うためには、長距離を対象とした経験的評価が必要である。本検討では、1000km までの長距離を対象とした距離減衰式を作成することを目的として、幾何減衰と震源距離の関係について着目する。

震源距離が長い観測記録は振幅が小さく、継続時間が長くなる。トリガー観測では記録が得られる点が少ないことや、後続位相が含まれない記録となることがある。また加速度記録では、振幅が小さい場合に長周期帯域の SN 比が下がる記録もある。本検討では長周期帯域で精度が高く連続観測による F-net の記録を使用した。対象とする地震は M5.0 以上のプレート境界地震、対象周期は 1-20 秒とした。F-net の観測点は基盤と見なせる点が多く、湯沢・工藤 (2011) と同様に回帰式はサイト係数を含まない式とした。

まず、距離減衰項を一般的な幾何減衰項と非弾性減衰項を距離に依存せずに一定として回帰した。非弾性減衰の小さい周期 20 秒の回帰曲線は、距離が約 100km 以内の範囲において観測記録の平均よりも傾きが小さく、逆に距離が 500km を超える範囲においては観測記録の平均よりも傾きが大きくなる傾向が得られた。これは距離範囲に依らず一定の減衰項を用いた距離減衰式による予測では距離範囲が短い範囲と長い範囲において、過小評価になることを示している。友澤・他 (2010) は、短周期帯において距離レンジによって減衰項の係数を変えた距離減衰式を求め、震源近傍の予測の精度を高めることに成功している。

非弾性減衰が小さい長周期では、震源距離が離れるにつれて実体波から表面波へと卓越する地震動成分の変化が現れ、幾何減衰による傾きは距離によって変化すると考えられる。長周期で幾何減衰がどのように変化するかを求め、距離範囲毎に幾何減衰項を評価する。また F-net の観測点密度による震源近傍の観測記録の少なさを補うため、Hi-net のデータも追加する予定である。

キーワード: 長周期地震動, 長距離, 幾何減衰
Keywords: long period motions, long distance, geometrical spreading

Long-Period Ground Motion Prediction Equations and Their Application to the Magnitude Estimation of Large Earthquakes

Long-Period Ground Motion Prediction Equations and Their Application to the Magnitude Estimation of Large Earthquakes

IBRAHIM, Rami^{1*}; SI, Hongjun¹; KOKETSU, Kazuki¹; MIYAKE, Hiroe¹
IBRAHIM, Rami^{1*}; SI, Hongjun¹; KOKETSU, Kazuki¹; MIYAKE, Hiroe¹

¹Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

¹Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

We developed long-period ground motion prediction equations (GMPEs) for peak ground velocities (PGVs) and peak ground displacements (PGDs) in a period range of 5-30 s. We only used strong motion data of KiK-net downhole stations located in layers of shear-wave velocities equal to or greater than 2000 m/s. We confirmed that the site effects due to surface geology for long-period PGVs and PGDs can be ignored at these observation stations. The dataset consists of 20 earthquakes of $6 \leq M_w \leq 9.1$ occurred in and around Japan. Two-stage regression analyses were carried out to derive the GMPEs. We fit the data with bilinear regression lines bending at M_w 7.5. Additional factors of focal depth and earthquake type were found to enhance the fitting with the observed data. Our developed long-period GMPEs predict the PGVs and PGDs of crustal earthquakes are larger than those of inter-plate and intra-plate earthquakes. The attenuation coefficients presented in the current study indicate that the long-period PGVs and PGDs increase by increasing depth.

We used the long-period GMPEs developed in this study to estimate the moment magnitude by fitting observed PGVs and PGDs at period range of 5-30 s with GMPEs. We estimated the magnitudes of the same 20 earthquakes and the 2013 Awaji Island earthquake (M_w 5.8) recorded by downhole accelerometers of KiK-net. The results are consistent with the moment magnitudes from the Global CMT project. The method is useful to estimate the magnitude of giant earthquakes such as the 2011 Tohoku earthquake (M_w 9.1). The proposed method can estimate the moment magnitude quickly if information of source area is available.

キーワード: long-period ground motion, ground motion prediction equation, moment magnitude, PGV, PGD

Keywords: long-period ground motion, ground motion prediction equation, moment magnitude, PGV, PGD

加速度計から得た速度と変位波形の誤差評価について Evaluation of random errors of displacements and velocities from strong motion records

徐培亮^{1*}
XU, Peiliang^{1*}

¹ 京都大学防災研究所

¹Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Strong motion accelerographs have been deployed worldwide to monitor the ground shaking of the Earth and the recorded accelerograms have been used to recover the velocities and displacements by integration. In spite of their fundamental importance in seismology and earthquake engineering, few works address the error estimates of the derived velocities and displacements. Although accelerographs have been used to compute velocity and displacement waveforms for more than 80 years, we show that no publications on error estimates of computed velocity and displacement waveforms are correct from the statistical point of view. We show that the error estimates of the velocities and displacements obtained from accelerograms in the earthquake literature approach to zero as the sampling interval of accelerographs tends to zero; these are erroneous from the statistical point of view. As a result, we present a set of formulae to correctly estimate the errors (or variances) of the integrated velocities and displacements from accelerograms. In addition, we also derive the covariances between the velocities and displacements.

Evaluation of random errors of displacements and velocities from strong motion records

Peiliang XU
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
1-1, Kyoto 611-0001, Japan
E-mail: peiliang@dis.kyoto-u.ac.jp

Abstract
Strong motion accelerographs have been deployed worldwide to monitor the ground shaking of the Earth and the recorded accelerograms have been used to recover the velocities and displacements by integration. In spite of their fundamental importance in seismology and earthquake engineering, few works address the error estimates of the derived velocities and displacements. Although accelerographs have been used to compute velocity and displacement waveforms for more than 80 years, we show that no publications on error estimates of computed velocity and displacement waveforms are correct from the statistical point of view. We show that the error estimates of the velocities and displacements obtained from accelerograms in the earthquake literature approach to zero as the sampling interval of accelerographs tends to zero; these are erroneous from the statistical point of view. As a result, we present a set of formulae to correctly estimate the errors (or variances) of the integrated velocities and displacements from accelerograms. In addition, we also derive the covariances between the velocities and displacements.

インドヒマラヤ地域における強震動観測ネットワークによる地震検知 Earthquake detection from strong ground motion observation network in Himalaya, India

増田 徹^{1*}; 瀧 一起¹; 鷹野 澄²; 古村 孝志²; 大木 聖子³; 伊藤 貴盛³; Chadha Rajender Kumar⁴; Srinagesh Davuluri⁴; Srinivas Dakuri⁴
MASUDA, Tetsu^{1*}; KOKETSU, Kazuki¹; TAKANO, Kiyoshi²; FURUMURA, Takashi²; OKI, Satoko³; ITO, Takamori³; CHADHA, Rajender kumar⁴; SRINAGESH, Davuluri⁴; SRINIVAS, Dakuri⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京大学情報学環, ³ 慶応義塾大学大学院, ⁴ National Geophysical Research Institute
¹ Earthquake Research Institute, ² University of Tokyo, ³ Keio University, ⁴ National Geophysical Research Institute

自然災害の要因究明に向けた観測データの収集と解析のための技術的開発及び整備は、地震災害の減災、緊急対策、及び復旧計画の策定にとって重要課題の一つである。「自然災害の減災と復旧のための情報ネットワーク構築に関する研究」はこの課題に対する JST と JICA の国際共同研究「地球規模課題国際科学技術協力プロジェクト」のひとつであり、日本とインドの研究者が参加し、インドヒマラヤ地域のヒンドウスタン平野とヒマラヤの麓において強震動観測、地殻変動観測、及び建物振動に関する研究を進めているところである。

インド北部ヒマラヤ地域の地震活動度の高い領域に 26 観測点を配置し、2012 年 10 月にこの地域での強震動観測が開始された。地震計には広帯域速度型強震計を選択しデジタルレコーダーによる連続記録を得ている。地震計の記録帯域が広いことと記録計の分解能が高いことにより、短周期強震動の記録のみならず、観測ネットワークの近傍で発生する小地震からの微弱な地震動や遠地地震からの長周期地震動も記録されることが期待される。地震記録を有効に利用するためには連続記録のなかから地震記録を取り出すことが必要である。本報告では、連続記録から地震を早く正確に検知するための方法とその結果について報告する。

ネットワークの観測点はヒマラヤ地域の学校敷地内に設置されているため、地動ノイズが常に低いということではなく時間により変化し、また突発的な大きなノイズが発生することもある。このことを踏まえて、ノイズが高い環境でも早く正確に地震を検知するための簡単な方法を開発し、この方法で検知した地震と NEIC カタログに記載されている地震とを比較した。観測開始から現在までの期間で、震央距離に関わりなく、マグニチュード 7.0 以上の全ての地震、マグニチュード 6.5~6.9 の地震の 90 % 以上、マグニチュード 6.0~6.4 の地震の 50 % 以上がネットワークにより検知された。震央距離 100 度以内の範囲ではマグニチュード 6 以上の 80% 以上の地震が検知された。検知された地震のなかには NEIC カタログに記載されていない地震が含まれる。S-P 時間からネットワーク近傍の小地震であると判断されるが、これらは狭い領域内での応力状態を示す指標となるものであり、このような地震の検知はこの地域の地震環境を明らかにする上で重要である。

現在までの結果から、強震動観測ネットワークにより、ヒマラヤ地域の地震活動、震源から観測点までの伝播経路の影響、観測点におけるサイト特性、震源過程、地下構造の研究のために、ネットワーク近傍の地震及び遠地地震からの有効な記録が得られることが期待される。

キーワード: 強震動, 観測, ネットワーク, 地震検知

Keywords: strong ground motion, observation, network, earthquake detection

傾斜基盤の基端部から発生する表面波による液状化被害の拡大 Liquefaction damage expansion caused by the generation of surface waves from base end section

中井 健太郎^{1*}; 野田 利弘¹; 村瀬 恒太郎¹; 浅岡 顕²; 澤田 義博²
NAKAI, Kentaro^{1*}; NODA, Toshihiro¹; MURASE, Kotaro¹; ASAOKA, Akira²; SAWADA, Yoshihiro²

¹ 名古屋大学大学院工学研究科, ² 地震予知総合研究振興会

¹School of Engineering, Nagoya University, ²Association for the development of earthquake prediction

東日本大震災では、浦安市をはじめ、広範囲の東京湾沿岸部の埋立て地盤において液状化現象が発生した。特徴の1つには、液状化地点と非液状化地点が空間的に不均一・非一様に分布していたことが挙げられる。その要因としては、地盤状態の不均一性、つまり、埋立て年代に伴う密度の違いや地盤改良の有無として解釈されることが多い。浦安市の地層構成に着目すると、液状化被害が軽微であった陸側は液状化層直下の軟弱粘土層厚が10m程度と薄いのにに対し、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が50mと厚く、約2kmにわたって基盤層が傾斜している。本稿では、この地層境界の傾斜に着目して二次元有効応力解析を実施し、傾斜基盤が表層の液状化発生に及ぼす影響を数値解析的に検討した。用いた解析コードは、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である。

図1(a)は、地震発生から50秒後の速度ベクトル図である。地層傾斜部周辺を示しており、鉛直方向にメッシュを2倍拡大している。表層部において反時計回りに巻き上げるような表面波の発生が確認できる。この表面波は傾斜基端部で発生し、図中の右側へ進行していく。図中には、基盤傾斜部中央付近における液状化層における平均有効応力低下率を、同地点の地層構成を反映して別途実施した、一次元解析結果(水平成層地盤)と重ねて示している。一次元解析では液状化しなかった(平均有効応力低下率<95%)が、二次元解析では平均有効応力低下率が95%以上となって液状化している(図1(b))。表面波の発生に伴って、地表付近での加速度が大きくなると同時に、主要動終了後も比較的大きな揺れが継続するためであり(図1(c))、二次元解析では平均有効応力低下率が長時間、上昇を続けている様子が見られる。図1(d)には、地震発生から200秒後のせん断ひずみ分布図を示す。表面波の発生に加え、地層傾斜の影響による地震波の屈折・反射によって、均質な地盤材料を想定した表層部においても不均一なせん断ひずみ分布が発生している。特に傾斜部直上でせん断ひずみが大きい。これは実際に浦安市で観測された液状化被害の様相とも符合し、非一様な液状化被害は、単に地盤の不均一性だけでなく、深部地層傾斜の影響もあったことが推測される。

以上まとめると、1) 基盤の傾斜によって傾斜基端部から表面波が生成され、表層地盤の継続的な揺れを引き起こすこと、2) それに伴い、傾斜部直上では加速度が大きくなると同時に、主要動終了後も比較的大きな揺れが継続するため、液状化が拡大すること、3) 均質な地盤材料であっても、層序の不均質性に起因して地震波が複雑に伝播し、地盤変状が大きくなること、を示し、多次元有効応力解析の必要性と有用性を示唆した。

Asaoka, A. et al.: Non-uniformity of surface layer liquefaction damage caused by layered system organization and dip of deeper layer, Japan Geoscience Union Meeting, SSS37-06, 2011.

Asaoka, A. et al.: Main shock ? aftershock interval effect on the liquefaction damage in Tohoku Region Pacific Coast Earthquake, Japan Geoscience Union Meeting, SSS33-P24, 2013.

Asaoka, A. et al.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5), 47-57, 2002.

Noda, T. et al.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S&F, 48(6), 771-790, 2008.

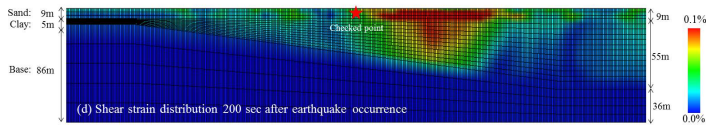
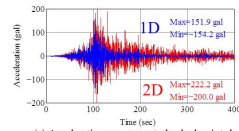
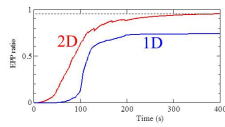
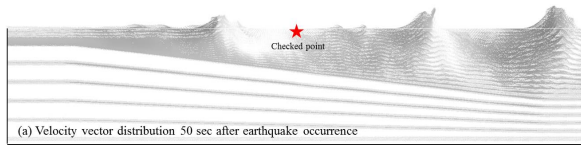
キーワード: 液状化, 傾斜基盤, 表面波, 有効応力解析

Keywords: liquefaction, stratum inclination, surface wave, effective stress analysis

SSS23-19

会場:211

時間:5月1日 15:15-15:30



2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生率と強震継続時間の関係の検討 Relationship between liquefaction occurrence ratio and strong ground motion duration for the 2011 off the Pacific coast

先名 重樹^{1*}; 若松 加寿江²; 松岡 昌志³
SENNA, Shigeki^{1*}; WAKAMATSU, Kazue²; MATSUOKA, Masashi³

¹ 防災科学技術研究所, ² 関東学院大, ³ 東工大
¹ NIED, ² Kanto Gakuin University, ³ Tokyo Inst. Tech

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方にかけての極めて広い範囲で液状化が発生した。特に関東の被害範囲・規模は非常に大きなものであった。被害が大きくなった理由について、今回の地震の余震を含めた継続時間の長さが被害規模を大きくしたとの研究報告もなされている。本研究では、液状化の発生率について、東北地方太平洋沖地震の地震動の継続時間の影響の検討を目的として、K-NET、KiK-net、気象庁、自治体の地震計の波形記録から、震度および功刀・他(2008)による「リアルタイム震度」を計算し、若松・先名(2014)の液状化発生地点のデータと松岡・他(2011)の液状化発生率を計算する手法を参考に、継続時間の長さが液状化に与える影響を検討した。

2. 計測震度とリアルタイム震度分布の計算について

継続時間の考慮をするにあたり、まず、松岡・他(2011)による、液状化発生率の計算方法に基づき、2011年東北地方太平洋沖地震の液状化発生地点に基づく、液状化発生率を計算した。なお、東北地方太平洋沖地震については、海岸付近は津波により液状化の痕跡が明瞭ではないことから、津波被害エリアを除いて評価した。入力としての地震動強さの指標は計測震度とし、地形・地盤分類250mメッシュマップから推定した地盤の平均S波速度(V_{s30})による地盤増幅率を考慮し、空間補間したものから地表の計測震度を求めている。一方、継続時間の考慮については、功刀・他(2008)の「リアルタイム震度」を用い、液状化が発生する計測震度閾値を4.5として、その震度よりも大きくなる部分の面積(ΔI_s)を求めた。求めた面積を、液状化を発生させる継続時間とみなし、計測震度分布同様の手法で空間補間をしたものから各メッシュの ΔI_s を算出した。

計算結果と各地震についての液状化発生率との比較を行った。使用した強震観測記録は、防災科研のK-NET、KiK-net、気象庁および自治体の震度計等の地震観測記録を使用した。

3. 液状化発生率と継続時間との関係

東北地方太平洋沖地震の計測震度区分における東北地方の液状化発生率を微地形区分ごとに計算した。なお、全メッシュ数が10個未満については、算出される発生率の信頼性が低いと考えて検討対象外とした。東北地方単独で液状化の発生率を算出すると、松岡らのフラジリティカーブをやや下回る結果となり、関東地方の方が同じ計測震度で液状化発生率が高くなる傾向を示している。この原因を明らかにするために、継続時間の影響を考慮して、東北地方と関東地方の液状化発生率を比較した。同じ計測震度に対して東北地方の ΔI_s は非常に大きく関東地域は比較的小さい。前述の東北地方と関東地方の液状化発生率の違いとは、逆の傾向を示している。液状化発生率と継続時間の関係を比較すると、関東地方の方が、より低震度・低継続時間で液状化が発生したといえる。なお、先名・他(2013)では、千葉県東方沖地震における液状化発生傾向は、東北地方太平洋沖地震での関東地方と同様に、 ΔI_s が小さくても発生率が大きくなる傾向がみられたが、液状化の震度に対する発生率は、東北地方太平洋沖地震の同じ震度に対し半分程度であった。すなわち、東北地方太平洋沖地震において関東地方の液状化発生率が高かったのは、継続時間の影響に加えて関東地方の地域性である可能性が高いことを示している。また、今回の検討では、地域性の違いを明らかにするために、松岡・他(2013)で示した2つの地域区分に分けて液状化の発生率を検討しており、ここでも地域性に大きな差があることを確認している。

4. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生に及ぼす地震動の継続時間の影響を検討するために、 ΔI_s を地震動継続時間の指標として東北地方と関東地方の液状化発生率を比較した。その結果、関東地方の方が低震度・低継続時間で液状化が発生したことが明らかになり、両地域の地域性に違いがある可能性が示唆された。今後、地震の大きさ(M_w)と地域性を考慮した液状化発生率の検討をより詳細に行う予定である。

<参考文献>

功刀卓・中村光洋・青井真・森川信之・藤原広行：地震瞬時速報システムのための強震観測記録、地震、第60巻、2008年、pp.243-252.

若松加寿江・先名重樹：4章 1.1 液状化発生地域の分布と被害の傾向、東日本大震災合同調査報告 共通編3 地盤災害、

SSS23-20

会場:211

時間:5月1日 15:30-15:45

丸善出版(株)、2014.3.

先名重樹・松岡昌志・若松加寿江・翠川三郎：2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生率と強震継続時間の関係の検討、第48回地盤工学研究発表会講演集、pp.1717-1718, 2013.7.

松岡昌志・若松加寿江・先名重樹：過去の液状化履歴からみた液状化発生率の地域性の検討、第48回地盤工学研究発表会講演集、pp.1715-1716, 2013.7.

キーワード: 液状化発生率, 強震継続時間, 微地形区分, フラジリティ曲線, 地域特性

Keywords: Occurrence of liquefaction, Continuation time of strong ground, Geomorphologic classification, Fragility curve, Regional peculiarity

波相論とソリトン The Wave Features Theory and Soliton

西澤 勝^{1*}
NISHIZAWA, Masaru^{1*}

¹ なし

¹ none

1. まえがき

筆者は文献1で、地震発生後50秒足らずで1回目の、90秒過ぎに急激な加速度の上下変動が認められ、文献2で示した(図-1)尾池和夫氏の宮城県南部沖のGPS波浪計の記録の、一つ目は“水面にゆっくりした上昇をもたらしたプレート型の地震動であり、二つ目は断層型という海底の急激な上下変動である”と述べた。本論文では、このゆっくりした水面上昇とSolitonを発生させるような急激な水面変動を生じさせる地震波を、Wave Features Theoryを用いて簡単に説明する。

2. 水面変動形態と Wave Features Theory

Frequencyがたとえば3 c/sと20 c/sのSeismic Waveを考える。筆者は直感で3 c/sの地震波は“ゆっくりした水面変動”を、20 c/sの地震波は、“より急激な水面変動”を起こすと考える。したがって、図-1の尾池和夫氏の著書の“緩やかな水面上昇”と記されている部分の地震波のFrequencyは小で、“急激な上昇”とある部分の地震波のFrequencyは大であるはずである。2011年、東日本大震災では、Solitonを発生させたわけである。尾池和夫氏の図で、②~⑦と波の山に番号が打たれていることは、この図の品格を著しく高めていることは、函館での地震学会で述べた通りである。②~⑦は孤立波ソリトン(Break down of Solitary Wave Solitons)の分裂を示しており、後のソリトンの衝突、追い越しを考えさせられるからである。3 c/sと20 c/sの地震波のスペクトル(振動数の大、小の異なる地震波)の山の形(正規分布形)(文献2)のちがいが理解されれば、水面がゆっくり上昇あるいはより急激に上昇するかが理解される。これは、水面変動ばかりでなく、地盤についても、建物についても同様である。構造物の場合には、大きな構造物(長周期構造物)と小さな構造物(短周期構造物)について、文献3、4、5等で述べた。2012.3.11東日本大地震では、壊れなかった建物が翌月4.7の宮城県沖地震で壊れたという建物がかかなりあったと聞く。この原因も、地震波のスペクトル形(正規分布形)により、判明すると考える。

3. 関東大震災の文学者達の眼(The eye of Writers under the title “The Great Kanto Earthquake (of 1923)”)

a) 正宗白鳥。「文明の薄弱さ」で“大磯なども東京人の別荘は全て破壊され、トタン屋根の貧弱な家は大抵は倒壊を免れた。田山花袋も「東京震災記」等で同じような記述をしている。

b) 竹久夢二。「変災雑記」で、昔の職人の建てた土蔵は所々に残ってゐる。陶磁器も眼で見た全体の感じと、質と量と形の上の釣合のとれたものはびくともしていない。一見してよくないものは倒れたり壊れたりしてゐる。アメリカ仕入れの西洋菓子のような、所謂文化建築は、いち早くぺちゃんこになった。又邪魔物にして、取り壊すとか、埋めるとか、二重橋の空き地にビルディングを建てるとかよくきいたが、上野の森や不忍の池、宮城の濠や芝や愛宕の山がどれだけ火事を防いでくれたかと、次の東京は、「緑の東京」でなくてはと述べている。文献3、4、5等で述べた、阪神大震災での、大きな構造物(長周期構造物)と小さな構造物(短周期構造物)の挙動のちがいについて、ここで述べた文学者達以外も描写記述されている。もしこれらの文学者達に科学的知識があれば、関東大震災直後から、今日の長周期・短周期構造物に対する諸問題の研究がスタートしていたように思われる。

4. これからの地震学について(From now on, Seismology)

これからの「地震学」は流体力学、特に「波動理論」が大切である。広くは「振動学」となる。構造物は「振動学」、「地盤の液化化」は「波動論」。又今回の2011東日本大震災の津波計算では、Solitonの発生によることから、「非線形波動」つまり「非線形波動とソリトン」、KDV方程式の学問等が必要となる。又NZ地震、浦安などの液化化も、湖のような“波動論”であつかう必要があることは、すでに述べた。

参考文献

1. 西澤勝(Masaru Nishizawa): GPS波浪計のSolitonと2011東日本大震災の地震波との関係(The Relationship between Soliton in GPS Wave gage and Seismic Wave of 2011 The TOHOKU District Pacific Ocean Earthquake), JpGU S-SS-33-19 (2013.5.19-24)
2. 西澤勝(Masaru Nishizawa): 地震動によるフーリエスペクトルの山の形(正規分布形)の考察(Study of Shape of Mountain (Normal Distribution) of Fourier Spectrum of Earthquake Motion), JpGU S-SS30-P12 (2012.5.20-25)
3. 西澤勝: 阪神大震災の調査結果の感想、第21回日本環境学会講演集、1995
4. 西澤勝: 1995年1月兵庫県南部地震の液化化に伴う免振力についての若干の考察
5. 西澤勝: 液化化に対する私見とその応用、第37回日本環境学会研究発表会、2011年6月

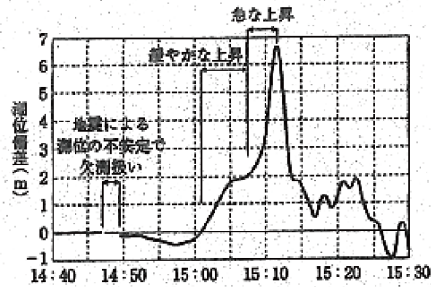
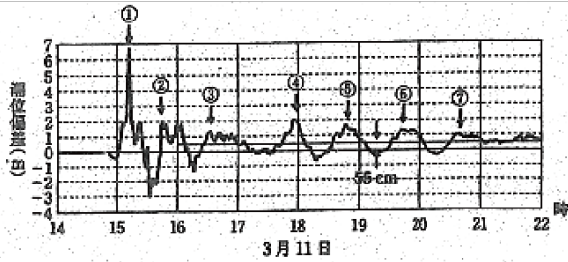
SSS23-21

会場:211

時間:5月1日 15:45-16:00

キーワード: 波相論, ソリトン, KDV 方程式, 非線形波動

Keywords: Wave Features Theory, Soliton, KDV Equation, Nonlinear waves



尾池和夫著
 「日本列島の巨大地震」
 岩波科学ライブラリー 185, P10
 ①: Soliton
 ②～⑦: Break down of Solitary wave Solitons
 参考: 日野幹雄著「流体力学」
 朝倉書店, 1992

岩手県南部沖のGPS波浪形の記録(左)と最初の部分の拡大図(右)
 国土交通省のデータをもとに作成

地震ハザードカルテ - 多指標とりまとめ型地震ハザード情報提供ツールの開発 Seismic hazard karte : A Tool for distribution of seismic hazard information with Multi-index

東 宏樹^{1*}; 藤原 広行¹
AZUMA, Hiroki^{1*}; FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

1. 地震ハザードカルテの概要

防災科研は2013年7月に『地震ハザードカルテ』を公開した。『地震ハザードカルテ』とは地点ごとの地震ハザード情報をまとめたもので、任意の場所を検索しその場所に関する地震危険度の診断書を作成することができる。結果は健康診断の通知書のように地震の危険度に関する各種地盤情報・ハザードカーブなどの多指標を多数のチャートやグラフを用いてA4 1枚にまとめられた一覧形式で表示する。

2. 開発の目的

地震本部による地震ハザード情報に対する国民の認知度等に関する調査や、総合部会における議論等から、利用者自身に由縁を持つある地点を起点として診断する形式を利用することで、地震ハザードに対する認識を広めることが可能と考えられた。地震ハザードカルテは他の地震ハザード情報と同様に基本的には一般市民全体に向けての発信であるが、ユースケースに分解した場合に大きく分けて以下の領域において使われることを想定した。特に①保険・不動産などの事業者に対しては、顧客向けのサービス資料として。②防災教育関係者および防災に携わる地域住民に対しては、ワークショップや家庭で対策を進めるための道具や、地域の地震ハザード情報の見方を教える教材として。③IT関係者、開発者に対しては、公開APIであるJ-SHIS Web APIを利用してレスポンス(返値)を表現するやり方のサンプルとして、それぞれ利用がしやすいよう意識して設計し、開発を行った。

3. 公開した結果

公開した当初から多くの反響があり、国により一元的に評価された地震ハザード情報の見せ方の一つとして一定の効果を上げたと考えられる。今回地震ハザードカルテとして提供された情報の中にコンテンツとして新しいものは一つもなく、全てJ-SHIS | 地震ハザードステーションからもとより提供されていた情報を異なる形式で可視化したに過ぎない。しかしそれでもカルテに対してポジティブなものでは「大変わかり易くてよい。遠くに住む家族にも教えた」というものから、ネガティブなものでは「こんなものが出ると当社の所有物件の価値に影響して困る」というような、ハザード情報が新規に公開された時のような反応が多数みられた。

4. 参考 URL

地震ハザードカルテ <http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/karte/>

地震ハザードカルテの見方 <http://www.j-shis.bosai.go.jp/karte-manual>

【ユレッジ特別企画】地震ハザードカルテの見方をざっくり解説 <http://www.yullege.jp/?p=282>

J-SHIS Web API : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/api-list>

キーワード: 地震ハザード, 情報提供ツール

Keywords: Seismic hazard, information tool

1943年鳥取地震直後に実施されたアンケートから導かれる気象庁震度分布 JMA intensity distribution of the 1943 Tottori earthquake derived from immediately conducted questionnaire survey

中村 真理子¹; 香川 敬生^{2*}; 野口 竜也²; 西田 良平²
NAKAMURA, Mariko¹; KAGAWA, Takao^{2*}; NOGUCHI, Tatsuya²; NISHIDA, Ryohei²

¹岡山市役所, ²鳥取大学大学院工学研究科
¹Okayama City Office, ²Tottori University

東京大学地震研究所および理学部地球物理学教室は、1943年鳥取地震、1944年東南海地震、1945年三河地震、1946年南海地震、1948年福井地震についてアンケート調査を実施し、震度集計資料が地震研究所に保存されていた(津村・他、2010)。西田・他(2013)はこのうち1943年鳥取地震の資料を整理し、改正メルカリ震度分布図を作成している。本研究では、改正メルカリ震度への換算を前提として作成されたアンケート項目のそれぞれについて現行の気象庁震度階との対応関係を求め、震度集計資料から気象庁震度階を評価することを試みた。

アンケートは主に学校に対して実施され、回答者の年代、住所、地震時に居た場所、その地形・地質情報などの基本事項に加えて、震度対応が見て取れる選択枝が設定され、回答者が感じ、見聞きした情報を回答するようになっている。これらを23項目に分類し、回答があったそれぞれの項目で改正メルカリ震度が求められ、その平均値が回答者の居た場所の震度として震度集計資料に整理されている。そこで、23項目の選択枝それぞれの記載項目について、改正メルカリ震度階に対応する気象庁震度を設定し、それらを複数の震度階でおこなうことにより、改正メルカリ震度から気象庁震度を評価する換算式とその適用範囲を求めた。実際には「立木など」に関する項目が気象庁震度階の解説に無いため除いたが、22項目について換算式を作成することができた。各回答についてそれぞれの項目で気象庁震度を算定し、その平均値から気象庁震度階を求めた。

活用することができたデータは、ほぼ糸魚川-静岡構造線以西から九州北東部までの全1935点であったが、これは現行の計測震度計の分布密度に匹敵するものである。その結果、これまで気象官署のデータのみから推定していた震度分布では把握出来なかった、横ずれ断層特有の断層延長に沿った強震動域や、遠地であっても堆積地盤で震度が大きいなど、防災資料としても有意義な震度分布図を作成することができた。当時のアンケート資料から現行気象庁震度分布を推定する方法を構築したことにより、他の4地震についても同様の解析をおこなうことで地震動の全容を把握することができるものと期待される。

謝辞 基礎データの編集作業では、放送大学鳥取センターの石賀晶仁氏にご協力頂きました。

参考文献 津村・他(2010)歴史地震, 25. 西田・他(2013)日本地震学会講演予稿集, 2013年度秋季.

キーワード: 1943年鳥取地震, アンケート調査, 気象庁震度, 改正メルカリ震度

Keywords: the 1943 Tottori earthquake, questionnaire survey, JMA intensity scale, modified Mercalli scale

東日本大震災に伴う死者の年齢依存性 (4) 乳幼児・高令者の死亡率は常に高いのか? Mortality in the East Japan Great Earthquake (4) Infants and elderlies should always suffer heavy rate of deaths?

太田 裕^{1*}; 小山 真紀²
OHTA, Yutaka^{1*}; KOYAMA, Maki²

¹ 東濃地震科研, ² 京大院工学研究科
¹TRIES, ADEP, ²Engr. Fac. Kyoto Univ.

1. 前承け

今までの調査・研究を通じて、地震(津波)に伴う死者の年齢依存特性が意外に多様であることを明らかにしてきた。その一方で特筆すべきパターンが2つあることも判った。すなわち、横軸に年齢を右に向けて昇順にとり、縦軸を死亡率とした座標上でみた場合、その一つは英語大文字のU字型であり、他の一つはやはり大文字のJ字型である。特に、2011年東日本大震災においては後者、すなわちJ字型となる地域が多いことを確認した。そうだとすると、災害弱者といわれる乳幼児の死亡率が高令者に比べて格段に低いこととなり、このままでは一寸理解し難い。そこで、本論ではこの問題に注目し、2つの異なる視点から考察した。

2. 平常年死亡率との対比から

年齢別の死亡率を比較する方法の一つとして、平常年の人口10万人当りの年齢別死亡率と災害等異常時のそれを比較する方法が提案されている[尾崎, 2012]。この方法の自然の発展として、『ある地域で地震等の災害に起因して発生した死者総数と同数の死者を平常時1年間に齎すような仮想人口集団を考え、この集団による年齢別死者数との対比を試みるという方法がある。この観点から、東北3県(岩手, 宮城, 福島県)を対象にそれぞれで相当人口と年間相当死者数を算定し、震災に伴う死者との対比を試みた。その結果、今までのように年齢別死者の存在比を単純にみるだけでは判然としなかった乳幼児とか若年層の死亡率が相当際立って見えるようになった。その一方で、J字型パターンにおいて高令者側で目立っていた死亡率が平常時のそれよりも低いことが見出された。

3. 余命年数損失の視点から

この問題を今一つ違った視点で捉えてみる。いうまでもなく、人命は一様に尊い。しかし、彼らの余命年数を考えると同じ死者でも余命残存年の長い人間の死亡は、一当然有って然るべき生存の年月が剥奪されることに他ならず一乳幼児・若年者ではその損失が特に大きいことを意味する。このような視点から、余命残存年数を重み付け要素とした上で災害時死亡に伴う年齢別の余命年数の損失量をみることが出来る。なお、ここで平均余命が問題となるが、これは0歳児のそれに他ならず、わが国では(男女を一体的にみると)80余歳である。しかし、現に100歳以上の生存者も多いことから、積算に際してはこの平均余命よりはかなり大きな値を考える方が妥当であろう。ここではこれを余命残存年数とし、(100-当該年齢) m を重み係数として採用した。ここに、べき乗指数 (m) は任意量であるが、 $m=1\sim 2$ の間で幾つか変えて試算した。その結果、程度の差はあれ、余命残存特性量をみることで、乳幼児等若年層においてその損失が際立って大きいことを確認した。

4. 終りに

従来のように単純に死者発生率を年齢別の存在比でみた場合、J字型の関係が得られたとしても一乳幼児の死亡率が一見低いようにみえたとしても一視点を変えてみることで乳幼児を初めとする若年層側では相当高い死亡率となっていることが、今回の試算で明瞭になった。また、今回の結果は、先に得たU字型分布についてもさらに立ち入った考察が必要なことを示唆している。

文献等

- 1) 尾崎, 地震災害時および災害後の健康被害, 厚生学の指標, 59, 2012. (志垣; 私信).
- 2) 太田・小山, 2011年東日本大震災に伴う人間被害の激甚性(2) 2013年春J p GU大会.
- 3) 太田・小山, 同上(3), 2013年秋地震学会.
- 4) 小山他, 東北地方太平洋沖地震における浸水状況を考慮した市町村別・年齢階級別死者発生状況, 土木論文集, 64, 地震工学, 32, 2012.

キーワード: 東日本大震災, 死者, 年齢依存性, 余命特性

Keywords: East Japan Earthquake, Mortality, Age-dependency, Life Expectancy