# 12 - 8 東北日本背弧域の震源断層モデルに基づく強震動予測 Prediction of strong ground motions for seismogenic source faults in the backarc of Northeast Japan

岩田知孝・浅野公之(京都大学防災研究所),大堀道広(福井大学国際原子力工学研究所) Tomotaka Iwata, Kimiyuki Asano (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University), Michihiro Ohori (Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui)

### 1. はじめに

本項では、日本海地震・津波プロジェクトで調査され、構築された日本海沿岸域の震源断層形状 モデルに基づいて、その震源断層が活動した場合の陸域の揺れの見積りと、その揺れの予測の信頼 性向上を目的とした調査を実施した.以下、地震時の揺れに密接に関係するS波速度構造を推定 するのに有効な手段として微動を用いた調査と既存地盤構造モデルの更新、強震記録を用いた地震 波サイト増幅特性評価、及び震源断層に対する強震動予測の事例を紹介する.

## 2. 微動による堆積平野速度構造調査と地盤構造モデルの更新

地震調査研究推進本部が進めている全国を概観した地震動予測地図では,震源断層が活動した場 合の強震動予測手法(「詳細法」)の高度化・標準化が組み込まれており,震源断層モデル及び地下 構造(地震波速度構造)モデルの構築とそれぞれのモデルを継続的に高度化していくことが必要と されている.特に揺れが大きくなり,人口密度も高い堆積平野や堆積盆地の地震基盤面以浅より地 表面までの地盤構造モデルの高度化は,強震動予測精度の高度化には不可欠である.今回,対象と なった日本海側においては,秋田県から新潟県にかけては「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 プロジェクト」<sup>1)</sup>,福岡県の福岡平野と筑紫平野については「警固断層帯(南東部)における重点 的な調査観測」<sup>2)</sup>により,それぞれS波速度構造を推定するのに有効な微動アレイ探査やボーリン グデータの収集等が多数実施され,詳細な深部地盤構造モデルが構築されている.本項では,既往 調査分布を踏まえ,調査が十分でない地域として,函館平野,津軽平野,富山・射水・砺波平野, 加賀平野,邑知潟平野,および山陰地方西部の小規模平野において,地震基盤面までのS波速度構 造推定のための微動アレイ探査と,面的な地盤構造変化を調べるための単点微動調査を実施した. 図1に本項で実施した微動アレイ探査地点を地図に示した.

これらの調査結果を踏まえ、全国地震動予測地図に使われている深部地盤構造モデルである J-SHIS V2 モデル<sup>3)</sup>に対して、本プロジェクトの海陸統合地殻構造調査や陸域活構造調査による探 査結果を利用して、函館平野、津軽平野、富山・射水・砺波平野の深部地下構造モデルの更新を行った. 多くの平野においては、従来の深部地盤構造モデルよりも地盤のS波速度が小さい、あるいは、地 震基盤面までの深度が深い傾向が見られた.また本項の調査では、浅部地盤モデルを構築するため に十分な密度、数の調査はできなかったものの、各平野等で表層地盤(工学的基盤面より浅部)の S波速度情報を得、今後の調査を効率的に進めるための基礎資料を作った.



#### 第1図 日本海地震津波調査プロジェクトでの微動アレイ探査実施地点(逆三角印).

#### 3. 強震波形記録の収集と分析

こうした地盤モデルの妥当性の検証は、実際に観測される地震動記録(波形記録)の特徴の再現 によって検証することができる.本プロジェクトを通して、北海道、青森県、秋田県、富山県、石 川県、福井県、京都府、兵庫県、島根県の震度情報ネットワークシステムの波形データの一部提供 を受けた.このうち、島根県、青森県及び北海道の地震波形データは研究項目2の地盤構造モデル の構築と妥当性検証に利用された.また福井県、石川県、富山県の震度情報ネットワークシステム の地震波形データを、国立研究開発法人防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net の波形データ<sup>4</sup>、気象 庁震度計波形データとともに用いて、観測サイトの地震波増幅特性を解析した<sup>5</sup>.図2は建物被害 と密接に関係すると考えられている周期1秒(周波数1Hz)付近の揺れの分布を示している.堆積 層が厚く分布している福井平野、加賀平野、邑知潟平野、射水・砺波平野、富山平野の観測点は、 黄色あるいはオレンジ色で、山地・丘陵にある観測点が青色のところに比べて、相対的に増幅特性 が大きいことがわかった.周波数1~2Hzにおいて.能登半島の鳳至郡穴水町(K-NET ISK005) と輪島市門前町(石川県震度計)において大きな増幅率を示しているが、これら2観測点は、2007 年能登半島地震の際に木造家屋の被害の集中が見られた地域にある.

Fig. 1 Map of the microtremor array observations in this study.



第2図 観測地点の揺れやすさの比較.(上)0.5~1Hz(周期1~2秒)の増幅率の分布.(下)1~2Hz (周期0.5~1秒)の増幅率の分布. 左から,福井県,石川県,富山県.

Fig. 2 Maps of the site amplification factors relative to the seismic bed rock site. Upper: 0.5-1.0Hz, Lower: 1.0-2.0Hz. Left: Fukui prefecture, Center: Ishikawa prefecture, Right: Toyama prefecture.

# 4. 震源断層モデルに基づく強震動予測

本プロジェクトにおいて構築された日本海沿岸における震源断層モデルに基づき,地震動予測式 に基づく簡便法による強震動予測を行って,陸域での震度分布を求めるとともに,高震度階が広く 分布する,地震動の影響が大きい震源断層モデルについて,断層破壊様式を踏まえた詳細法地震動 計算を実施し,破壊様式の違いに基づく震度分布の違いを調べた.対象とした震源断層モデルは, 年度を追って,富山沖及び砺波平野,福井沖〜鳥取沖,島根沖〜五島列島沖,函館平野西縁断層帯, 北海道利尻沖〜渡島沖,青森西方沖〜山形沖である.ここでは例として,福岡沖に設定された震源 断層(FO03+FO05 断層)に対して詳細法地震動計算による陸域の震度分布を示す.地図で海の中 に直線に見えるのは震源断層位置で、傾斜角が90度の震源断層のため、地図上では線の表示となっ ている.実際の断層幅は、北側の断層 FO03と南側の断層 FO05 ではそれぞれ 12km、14km と設定 している.断層長さは全体で74 kmとなり、断層長さとマグニチュードの関係式<sup>の</sup>を用いると M7.9 という地震想定になる.震度分布の地図が2枚あり、陸域の揺れの分布がずいぶん違うことがわか る.この2つは、震源断層位置や大きさは同じであるものの、破壊開始点が違う想定をしている. 地図に示される小さい赤い星印が、仮定した破壊開始点にあたる.左図の破壊開始点が震源断層の 北東にある(北西から破壊がはじまる)場合は、破壊伝播が九州本島に向かって進むことから、福 岡県を中心に沿岸で震度6弱以上の揺れに見舞われ、震源域からやや離れている筑紫平野でも震度 5弱の揺れが広がる.一方、右図の破壊が南東からはじまり、破壊伝播が九州本島から離れていく 想定の場合は、北部九州の地震動は小さくなり、震度6弱以上は沖ノ島や大島(宗像市)の一部な どに限られる.このように破壊伝播によっては、震源断層が同じでも揺れ分布が大きく異なること があるため、地震被害想定には、考えられる様々なケース(地震想定)を行い、議論する必要がある.



第3図 福岡沖の震源断層(FO03+FO05)が活動した場合の陸域の震度分布.(左)北西から破壊開始した場合.(右) 南東から破壊開始した場合.黒線が想定震源断層,赤星が破壊開始点.

Fig. 3 JMA seismic intensity map of the hypothesized source fault model (FO03+FO05). Left: the rupture starts from North-Western side of the source fault, Right: the rupture starts from South-Eastern side. prefecture, Right: Toyama prefecture. 5. 強震動評価もとづく歴史地震の震源断層の推定-1894年明治庄内地震の震源断層モデル-

本プロジェクトにおいては、震源・津波波源断層の形状把握と島弧・背弧海盆の基本的な地殻構 造を把握するため、令和元年度に東北日本弧中部の背弧を構成する新庄盆地東縁から庄内平野に至 る約 60 km の陸上区間とその西方海域の日本海盆にいたる約 350 km の海域区間において、海陸統 合地殻構造探査が行われた.この調査によって庄内平野西部に東下がりの形状を持つ伏在断層が見 出された.この断層は庄内平野の直下に位置することから、活動した場合には庄内平野全体が強震 動に襲われる可能性が高いと考えられる.

1894 年庄内地震は明治 27 年 10 月 22 日 17 時 35 分頃に山形県庄内平野北部を震源として発生した M7.0 の地震で、この地震によって特に酒田を中心とした庄内平野で大被害を引き起こしている. 加えて、酒田では大火災が発生し、当時の市街地の総戸数の 8 割が焼失したとされている.この地震の震源断層は、庄内平野の東縁に位置する庄内平野東縁断層帯と考えられてきたが<sup>7).8)</sup>、トレンチ調査では新しい地層に明瞭な変位は見つからず、地表地震断層は確認されていない.

歴史史料に基づいた 1894 年庄内地震(M7.0)の被害分布がとりまとめられていて<sup>9)</sup>, この地震 の震源断層像を,「地震被害分布の再現」という従来の研究とは異なるアプローチにより推定した. 具体的には,前述の探査結果に基づいて,庄内平野東縁断層帯及び庄内平野西部に位置する震源断 層モデルを設定し,それらを対象として,地震本部で実施されている,「震源断層を特定した地震 の強震動予測手法」に準拠して震源断層モデルパラメータを決めて,地震動シミュレーションによ り計測震度を算出し,被害に基づく震度分布と比較して,震源断層モデルの妥当性を検討した.そ の際,揺れ分布推定に大きく影響する地下構造モデルには,工学的基盤面から地震基盤面相当まで の深部地盤構造モデルとして,国立研究開発法人防災科学技術研究所が提供している地震ハザード ステーションの深部地盤モデル V2(J-SHIS V2 モデル)<sup>3)</sup>に微動アレイの位相速度情報,地震記録 の R/V スペクトル比を用いて更新したものを利用した.また詳細な揺れの分布に密接に関わると 考えられる工学的基盤面以浅の浅部地盤構造モデルは,地盤ボーリング情報に基づいて構築した. なお,庄内平野東縁断層帯と同程度の長さとして,地震規模を同等(M7.5)と仮定した.

明治庄内地震の被害分布から求めた震度値の分布と計測震度分布の重ね書きを図5に示す.細か な違いはみられるものの,庄内平野内の高震度域は,庄内平野西部の伏在震源断層モデルに基づく 計測震度分布により対応していた.

本稿では紹介していないが、同様の検討を1766年明和津軽地震に対しても行い、震源断層モデ ルの候補を提案した.「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」は、強震波形等を用いた詳し い震源断層モデルが得られている地震の平均的な震源特性パラメータを反映した震源断層モデル想 定をしているため、細かな点での再現性は十分でないと考えられるが、当該地域の詳細な地設構造 や信頼性の高い地下構造モデルが構築されていくことによって、揺れの評価にもとづいた過去の地 震の震源断層を探る方法が進むことで、当該地域の地震ハザードを知る上でも重要と考えられる.

-644 -



第4図 1894年明治庄内地震の震度分布と計算結果の比較.被害に基づく震度分布(〇印)と計算震度を重ね書いた.

Fig. 4 Comparison of the observed seismic intensity distribution from seismic disaster information (circles) and the simulated seismic intensity distribution by the hypothetical source fault model beneath the Syonai basin (colored contours).

6. おわりに

本稿では、本プロジェクトで実施された日本海側の震源断層モデルによる強震動予測を実施した. 強震動予測の高度化に必要な地下構造モデルの高度化に資する調査として、これまで情報が十分で なかった地域において微動アレイ探査を中心に実施し、地盤構造、特に揺れの大小に密接に関係す るS波速度情報を得た.堆積平野地盤構造モデルの改訂においては、その成果や関連情報を活用し、 函館平野、津軽平野、富山平野周辺の深部地盤構造モデルの更新を行った.また自治体震度情報ネッ トワークの波形データを収集し、地盤構造モデル構築に利用するとともに、地盤震動特性分析を一 部で実施した.

震源断層モデルに基づく強震動予測では、津波評価と対応した強震動評価と本プロジェクトの調 査で見出された震源断層モデルに基づいて歴史地震の震源断層の検討を行った。

更新された深部地盤構造モデルは今後,地震調査研究推進本部が行う全国の地下構造モデルの更 新に合わせて取り込まれる予定である.また,自治体震度情報ネットワークシステムの波形データ は十分に利用できることがわかったため,今後,幅広い利活用を目指して,波形データがもれなく 収集できるような仕組みを構築し,利用に資することが,全国地震動予測地図の精度や信頼性を向 上させていくのにつながると考える.また,歴史地震を対象とした強震動評価によって歴史地震の 震源断層特定の試みを行うことができたのは,地殻構造調査から震源断層モデル構築,強震動・津 波予測までの研究分野を横断的に実施し,協働できる体制を整えた本プロジェクトの特性によると ころが大きいと考える. 謝 辞

本稿の研究には、国立研究開発法人防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net, 気象庁震度計の波形デー タを利用した. 自治体震度情報ネットワークシステムの波形提供を快諾いただいた各道府県の危機 管理担当部署に御礼申し上げます. また現地での微動観測等に便宜を図って頂いた関係機関に御礼 申し上げます.

参考文献

- 1) 独立行政法人防災科学技術研究所 (2013), 文部科学省委託研究「ひずみ集中帯の重点的調査観測・ 研究」総括成果報告書, 98pp.
- 2) 文部科学省研究開発局,国立大学法人九州大学(2014),「警*固断層帯(南東部)における重点的 な調査観測」平成 23 ~ 25 年度成果報告書*, 378pp.
- 3) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 (2019), J-SHIS 地震ハザードステーション, doi:10.17598/nied.0010.
- 4) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net (NIED K-NET, KiK-net) (2019), https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004
- 5) 岩田知孝,入倉孝次郎 (1986), 観測された地震波から,震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震第2輯, 39, 579-593.
- 6) 松田時彦 (1990), 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第2輯, 28, 269-283.
- 7)池田安隆,鈴木康弘,渡辺満久,須貝俊彦,米倉伸之(1988),1987年庄内平野東縁・観音寺断層 (北境地区)トレンチ調査,活断層研究,5,77-81.
- 8) 産業技術総合研究所 (2007), 庄内平野東緑断層帯の活動性及び活動履歴調査, 基盤的調査観測対 象断層帯の追加・補完調査成果報告書, H18-6, 44pp.
- 9) 松浦律子 (2012), 1894 庄内地震, *日本歴史災害事典*, 北原糸子・松浦律子・木村玲欧(編), 吉川弘文館, 371–372.