

A Study on the Prediction of Long-Period Ground Motions from Intralab Earthquakes

(スラブ内地震による長周期地震動の予測に関する研究)

学位論文内容の要旨

Recently, long-period structures, such as high rise buildings, huge oil storage tanks, and base-isolated structures, increase the number in urban areas located on deep sedimentary basins. It is very important for planning of urban seismic disaster mitigation to understand long-period ground motion from future large earthquakes. It is well known that disastrous earthquakes are plate boundary earthquakes such as the 2003 Tokachi-oki earthquake (Mw 8.3) at the subduction zone. However, after severe damage due to the 1993 Kushiro-oki intralab earthquake (Mw 7.6; depth 100 km), we have recognized that large intralab earthquakes are also disastrous ones at the subduction zone. This study aims to resolve current issues related to the prediction of long-period ground motions from large intralab earthquakes. The target area in this study is the Tokachi basin located on eastern part of Hokkaido, Japan; the Tokachi basin extends about 100 km in the north-south direction and about 50 km in the east-west direction. There are empirical and theoretical methods for the strong motion prediction. In Chapter 2, the empirical prediction method was examined based on the existing attenuation relationship of pseudo velocity response spectra. It was found that the predicted long-period response spectra from intralab earthquakes were several times smaller than the observed ones at the central basin site. This is due to difficulty of effectively including the basin site effects in the attenuation relationship. This indicates that we have to rely on the theoretical method such as finite difference method based on three-dimensional (3-D) velocity structure model of the Tokachi basin for the prediction of long-period ground motion. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) constructed the 3-D velocity structure of Hokkaido by compiling the results of geophysical explorations, microtremor array observations, and deep borehole data. This NIED model should be checked and verified based on the observed features of ground motions. In Chapter 3, 3-D simulations based on the NIED Tokachi basin structure model were carried out for three intralab earthquakes (Mw 6.1~6.8) and the results were compared with the observed records. The comparison results showed that the synthetic S-waves well reproduced the observed ones at the central basin sites while the synthetic S-waves did not reproduce the observed ones at the basin edge sites. In addition, it was found that the synthetic basin-induced surface waves (secondarily generated surface waves at the basin edge due to S-wave incidence) overestimated the observed ones. From these results it was concluded that the NIED Tokachi basin velocity model was fairly good, but it required some modification at the basin edges.

In general, direct S-wave at a basin site from 3-D simulation for the 3-D basin structure is essentially the same as that from 1-D simulation for a flat layer structure just beneath the site. According to this fact, a simple method for tuning the deep velocity structure by 1-D simulation of long-period S-wave was proposed. The observed S-waveforms were compared with the 1-D simulated S-waveforms assuming a tentative velocity structure. This process is repeated until both S-waveforms fit reasonably. In this process, it is the key to selecting an appropriate band-width of the band-pass filter based on the S-wave amplification factor due to sedimentary layers. In Chapter 4, the S-wave velocity structures just beneath the strong motion observation sites were tuned by using this proposed method. Here it was assumed that the sedimentary layer number and the velocity of each layer were the same as those of the NIED model; the layer thickness was estimated. The results showed that the S-wave velocity structures were considerably revised at the basin edge sites.

The strong motion observation sites were not enough for revision of the 3-D velocity structure at the western basin edge where the basin-induced surface waves were generated. In Chapter 5, the velocity structures at several microtremor array observation sites were estimated by applying the GA inversion method to the Rayleigh wave phase velocity data. In the inversion process, the same conditions for the sedimentary layers as mentioned in the previous paragraph were assumed. The revised 3-D velocity structure model was constructed at the western basin edge combining the tuned velocity structures at the strong motion observation sites and the inverted velocity structures at the microtremor array observation sites. The 3-D simulations based on the revised Tokachi basin velocity structure model were carried out again for the three intraslab earthquakes. It was found that the new synthetic ground motions reasonably reproduced the observed ones at roughly whole sites. Especially, the overestimate of the basin-induced surface waves for the NIED model was considerably reduced by the revised model. From above studies, the revision method of the 3-D velocity structure model for the prediction of long-period ground motions was accomplished.

In Chapter 6, the 3-D simulation based on the revised Tokachi basin velocity model was carried out for the large 1993 Kushiro-oki intraslab earthquake (Mw 7.6) to examine the long-period ground motion level in the Tokachi basin. The comparison between the observed and synthetic records at a few sites showed that the general features of the observed waveforms (amplitude and duration) were fairly well reproduced. Finally the long-period ground motion hazard map of the Tokachi basin for the 1993 Kushiro-oki earthquake was expressed as spatial distribution of peak ground velocity (PGV) based on the bandpass filtered (0.05-0.5 Hz) synthetic waveforms. The synthetic PGV values exceed 20 cm/s in wide areas of the Tokachi basin; the maximum value reaches near 75 cm/s. Although this map is a preliminary one because the revision of the velocity structure in the whole area of the Tokachi basin is not yet completed, it demonstrates that the long-period ground motion hazard level is high in the Tokachi basin even for large intraslab earthquakes.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 笹 谷 努

副 査 教 授 緑 川 光 正

副 査 准教授 高 井 伸 雄

学 位 論 文 題 名

A Study on the Prediction of Long-Period Ground Motions from Intralab Earthquakes

(スラブ内地震による長周期地震動の予測に関する研究)

近年、堆積盆地上に位置する大都市において、超高層ビル及び大規模貯蔵タンク等が急増している。この大都市における地震災害の軽減策を構築する際に、将来の大地震による長周期地震動(周期2秒~20秒)の挙動を把握することは極めて重要である。本論文は、北海道東部の十勝堆積盆地を対象として、沈み込んだ海洋プレート内の地震(以後、これをスラブ内地震と呼ぶ)による長周期地震動の予測に関係した重要課題の解明を目的としている。第1章では、このような背景と研究の目的が記述されている。

地震動の予測には、経験的な手法と理論的な手法とがある。第2章においては、著者が構築した応答スペクトルの距離減衰関係及びその既往研究結果を十勝盆地に適用して、その経験的な手法による予測の有効性を検討した。その結果、これらの距離減衰関係は観測された短周期域の応答スペクトルを良く再現している一方、長周期域の応答スペクトルは、盆地中央部において、観測されたスペクトルよりも数倍小さいことを見出した。この非有効性は、盆地による長周期地震動の増幅効果を距離減衰関係に効果的に取り入れることが困難であることに因ると結論した。この章の検討結果を踏まえて、第3章から第5章で、差分法に基づく理論的な予測手法について検討している。

独立行政法人防災科学技術研究所(以下、NIEDと略記する)は、長周期地震動に大きな影響を与える3次元深部地盤構造(地震波速度構造)初期モデルを全国レベルで構築している。第3章において、NIEDの十勝盆地速度構造モデルの妥当性を検証するために、3つのスラブ内地震(Mw 6.1-6.8)について差分法による3次元シミュレーションを実施し、その合成記録と観測記録とを比較した。その結果、盆地中央部では合成S波が観測S波を良く再現しているが、盆地端部ではその再現の良くないこと、さらに、合成された盆地生成表面波(S波の入力により盆地端部で2次的に励起された表面波)が観測のそれを過大に評価していることがわかった。これらの検討から、NIEDの十勝盆地速度構造モデルは大局的には妥当であるが、盆地端部ではその修正が必要であると結論している。

第4章では、前章で合成S波が観測S波と一致していないと判断された強震観測点直下のS波速度構造を修正している。ここで、著者は、理論的な検討を踏まえて、S波の1次元シミュレーションによる速度構造の修正方法を新たに提案した。この修正方法のキーは、合成S波と観測S

波との比較において、1次元速度構造によるS波増幅特性を基にして適切なバンドパスフィルターを用いることである。結果として、十勝盆地西端部の強震観測点下のS波速度構造は大きく修正された。しかし、強震観測点の数は、NIEDの3次元構造を修正するには不十分である。

十勝平野西部では、過去にS波速度構造推定のための微動アレー探査が数多く行われている。そこで、第5章において、微動探査から得られたレイリー波の分散曲線データを逆解析することによって、S波速度構造を再評価した。そして、微動アレー探査地点下と強震観測点下での修正S波速度構造を補完することによって、十勝盆地西部の修正3次元速度構造モデルを構築した。さらに、そのモデルに基づいて第3章で用いた3つの地震に対して3次元シミュレーションを再び実施し、その合成波形が観測波形をかなり良く再現することを示した。

最後に、第6章において、修正3次元速度構造モデルに基づいて1993年釧路沖スラブ内大地震(Mw7.6)に対する3次元シミュレーションを実施し、面的に長周期地震動を評価した。そのPGV(最大地動速度)分布は、長周期地震動ハザードマップに相当するが、十勝盆地内の多くの地点で20 cm/s以上のPGVであることを示した。また、盆地内の堆積層の厚い地点では、10 cm/s以上の振幅を有する長周期地震動が2分以上の長い間継続することも示している。これは、スラブ内大地震による大規模堆積盆地における長周期地震動も、プレート間大地震によるそれと同様に、長周期構造物に大きな影響を与えることを初めて明らかにしたものである。

これを要するに、著者は、大都市において増大する長大構造物の設計時に要求される長周期地震動を高精度に予測する際の最重要課題である3次元深部地盤構造の妥当性の検証及びその修正方法を確立し、さらに、スラブ内大地震による長周期地震動の十勝堆積盆地における危険性を明らかにしたものであり、強震動地震学、耐震工学、建築都市学に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。