

## 論文の要旨

題目 Earthquake Loss Estimation Based on Building Inventory Data and Strong Motion Prediction in Ulaanbaatar city, Mongolia

(モンゴル・ウランバートル市における強震動予測と建物台帳データに基づく地震被害予測)

氏名 Zorigt Tumurbaatar

Mongolia has been one of the most seismically active intracontinental regions in the world with four large earthquakes with the magnitudes of around 8 along with their active faults in the western part of the country during the last century. Comparing with western Mongolia, central Mongolia including Ulaanbaatar's region (UB) is considered as relatively low seismically active zone. Even though, according to the previous investigation, there are several active faults such as Hustai, Gunj, and Emeelt faults. In particular, the Emeelt fault earthquake with the estimated maximum magnitude of 7 has been expected to produce great impact to UB region because the fault is located at around 20km from UB to the west-south-west direction. In this research, building loss estimation due to a scenario earthquake is performed based on strong motion prediction and updated building inventory data in Ulaanbaatar city (UB), Mongolia.

In the Chapter I, the seismic and social conditions in UB are described for applying strong motion simulation and building damage assessment. I revealed that the detailed shear-wave velocity models and up-to-date building inventory are required in UB because such data is not prepared in the target area. The literature reviews for microtremor-based approach for developing underground structure model and urban-scale building damage assessments are also conducted. The objective and methods of this research are explained.

In the Chapter II, microtremor measurements are conducted at 50 sites in UB and microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVR) are obtained to evaluate the site effects. Joint inversion technique based on the diffuse field theory is applied to the observed MHVRs and surface-wave dispersion data estimated by microtremor array observation in previous research at three sites in UB for estimating shear-wave velocity structure models. Based on the results of the joint inversion analysis, single inversion is applied to the MHVRs at the rest of the observation sites for estimating shear-wave velocity models. The surface shear-wave velocity models estimated by the inversion analysis shows good agreement with soil models of existing borehole data. Finally, the theoretical site amplifications of S-waves are evaluated by the estimated shear-wave velocity models, and the seismic zoning is performed based on the amplification factors.

In the Chapter III, strong ground motion simulation is performed for the scenario earthquake induced by the Emeelt fault. Seismic ground motions at the seismic bedrock are computed by the stochastic Green's function (SGF) method and the characterized fault model. Seismic ground motions at the ground surface are calculated by the estimated shear-wave velocity models in the Chapter II and equivalent linear seismic response analysis method of DYNEQ. The dynamic soil properties for sand and gravel developed in Japan are applied to evaluate nonlinear response of strong shaking. The distributions of spectral accelerations for typical periods are estimated from the strong ground motion simulation and spatial interpolation technique. The result of the simulation shows that the peak ground acceleration is expected at approximately 500 cm/s<sup>2</sup> in the western part of UB located near the fault.

In the Chapter IV, the building inventory data is updated from the existing data by estimating heating type, structural class, and construction year for the unregistered buildings for estimating construction cost of the buildings. Since Mongolia is located in the cold region, the heating type is a critical item that controls the construction cost. The building information is estimated from the location, building use, building height, and building shape such as area, length and width of the registered buildings. The construction cost for each building is evaluated based on the Mongolian construction code. I confirmed that the estimated construction costs aggregated for the districts show good agreement with the official statistics for the building properties.

In the Chapter V, the financial building loss due to the scenario earthquake is estimated based on the result of the strong motion simulation, the updated building inventory data and global vulnerability functions developed in GAR-13. The building vulnerability classes are assigned by the structural type, building height, and location. The result of the loss estimation shows the total amount of the loss is approximately 3.4 billion USD whereas the recent growth domestic product (GDP) in Mongolia is 28.7 billion USD, indicating the loss reaches approximately 26 % of the Mongolian GDP. The estimated loss almost corresponds to the direct shaking related economic losses in the recent worldwide M7 class earthquakes.

The Chapter VI summarizes the researches in this thesis, and also the strengths and limitations of this study are described for future researches.

## 概要和訳

モンゴルは、マグニチュード 8 クラスの巨大地震が発生する地域であり、世界の中でも地震に対する危険度の高い地域のひとつである。首都ウランバートル（以下、UB）は、地震活動度の高い西部に比べると比較的活動度は低いものの、約 20km の範囲内に Emeelt 断層など複数の活断層があり、マグニチュード 7 クラスの地震が発生する恐れがある。本研究では、UB を対象として将来の地震に対する防災対策に資するために、想定される地震に対して最新の知見を活用して強震動予測や建物被害予測を行った。

第 1 章では、UB 周辺における地震環境および都市環境を述べるとともに、既往の研究のレビューにより、UB では強震動予測を実施するために必要な地下の詳細な S 波速度構造モデルおよび建物被害予測を行うのに必要な詳細な建物台帳データを整備する必要があることを明らかにした。その上で、本研究の目的および手法を述べた。

第 2 章では、UB の S 波速度構造モデルおよび地盤増幅特性を明らかにするために、約 50 地点において微動計測を実施し、水平/上下スペクトル比（MHVR）を算出した。過去の研究での微動アレイ観測により表面波分散曲線が得られている 3 地点では、拡散波動場理論に基づき MHVR と分散曲線の同時逆解析を実施し、地震基盤までの S 波速度構造を推定した。この推定結果を利用し、残りの地点では MHVR の単独逆解析により、S 波速度構造を推定した。得られたモデルの浅部地盤を、既存のボーリング資料等と比較したところ、層構造がよく一致することを確認した。さらに、得られたモデルから S 波の理論増幅率を算出し、その特徴から UB 全体を 5 地域にゾーニングできることを示した。

第 3 章では、Emeelt 断層を想定地震とする強震動予測を実施した。まず、統計的グリーン関数法と特性化した震源モデルにより、UB 内 50 地点に対して地震基盤面での強震動波形を算出した。さらに、前章で推定した S 波速度構造モデルを利用し、等価線形解析のひとつである DYNEQ を適用し、地盤の非線形を考慮して地表面の強震動波形を算出した。その際、地盤の動的変形特性は日本で得られたものを利用した。さらに UB 内の強震動分布を求めるために、得られた地震動強さを空間補間し、複数の周期に対する応答加速度値の分布を得た。これらの強震動予測結果から、想定地震において UB では断層に近い地点で最大

加速度約 500cm/s/s 程度の地震動が想定されることを明らかにした。

第 4 章では、既存の建物台帳データに対して、情報が欠けている建物に対して構造種別、建築年等の情報を追加することで、建物台帳データの更新を行った。また、本研究では、地震で生じる建物の経済的被害を推定するために、それぞれの建物の建設費用を推定した。データの更新では、既存のデータのうち、情報が得られている建物の特徴を分析し、建物の位置、用途、高さ、形状に対して閾値処理することにより、各情報を推定した。特に、モンゴルは寒冷地であるため、暖房タイプは建設費用に大きく影響することから、建物情報から暖房タイプについても推定した。モンゴルの建築基準に記載されている手法を適用することで、各建物の建設費用を推定した。推定した建設費用を地域毎の総計を求めたところ、UB が発行する資産総計値とよく一致することを確認した。

第 5 章では、前章までの強震動予測結果および更新した建物台帳データを利用して、建物の損害額を推定した。損害額推定に必要なバルナラビリティ関数は、世界リスク評価モデル (GAR-13) で提案されているものを利用し、建物の構造や高さを基に建物タイプ別に与えた。損害額の推定の結果、UB 全体で約 34 億 USD の損害が発生する可能性があることを明らかにした。この値はモンゴルの国内総生産 (GDP) の約 26% に相当することを示した。また、この推定結果は、近年発生した世界各地でのマグニチュード 7 クラスの地震損害額と概ね一致することも明らかにした。

第 6 章では、本研究を総括するとともに、本研究による適用範囲を明らかにし、今後の検討課題についても示した。