

拠点研究（一般推進）（課題番号：2020-A03）

課題名：地震による建物非構造部材とライフライン被害を考慮した発災インパクト予測のための詳細強震動分布および被害発生メカニズム解明に関する研究

研究代表者（氏名，所属，職名）：松島信一，地震災害研究部門，教授

研究期間：令和 2年 4月 1日 ～ 令和 3年 3月31日

共同研究参加者数： 58名（所外25名，所内33名）

- ・大学院生の参加状況： 15名（修士 7名，博士 8名）（内数）
- ・大学院生の参加形態 [非線形地盤解析，被害シミュレーション，微動観測，調査実施，成果のとりまとめ支援，遠心模型実験，数値シミュレーション，地下構造モデルの検証と高度化，データ解析]

研究報告：

[研究目的・趣旨]

2018年の大阪府北部の地震などを踏まえ，詳細な強震動分布と非構造部材を含めた建物被害やライフライン被害の発生メカニズムの解明およびその発災インパクトの予測について分野を横断して行う．強震動と被害の分布は複雑であり，非構造部材やライフラインのより高精度な被害予測と発災インパクト評価に向け，地震のメカニズムから微細な地盤増幅特性および被害予測に係わる一連の研究分野を統合した研究を実施する．

[研究経過]

主に2018年の大阪府北部の地震や平成30年（2018年）北海道胆振東部地震について以下に掲げる項目に関する調査・分析・解析を行い，研究項目間の情報交換を行いながら研究を進めた．1) 中規模地震の震央近傍の強震動特性の把握，2) 建物の構造的被害，非構造的被害，ライフライン被害と強震動の周波数特性との関係解明，3) 中規模地震の強震動特性と建物に被害を及ぼす周波数帯における地盤増幅特性の把握，4) 中規模地震による発災インパクト．

[研究成果]

1) 2018年6月の大阪府北部の地震 (M_w 5.5, M_{JMA} 6.1) を対象に，断層破壊モデルと地盤構造モデルを用いて，2 Hzまでを対象とした地震動シミュレーションを行った．震源近傍の強震動の面的分布の形成には，S波のラディエーションパターンおよび破壊伝播の指向性効果，1次元的な意味合いでの堆積層地盤の増幅効果に加え，堆積層の基盤形状による3次元的な地震波の伝播および干渉も大きな影響をもたらしていることがわかった．

2) 地震時の埋設管被害は地盤が空間的に変化する場所に生じやすいことがこれまで知られている．液状化のように地盤が非常に軟弱になると地盤が流体状の性質を示して揺動（スロッシング）現象が生じる可能性がこれまで指摘されており，このような揺動現象が生じれば地盤の境界近くで非常に大きなひずみが生じると考えられる．地盤の揺動現象を解析できる手法を用いて浦安地域の被害状況と比較したところ，少なくとも液状化地盤がせん断剛性0の完全流体では被害状況を説明できないことが明らかとなった．上部構造物を有する液状化地盤中の群杭基礎を対象として，遠心模型実験と有限要素法による地震応答解析を実施した．水平地盤と群杭基礎との相互作用に加え，側方流動する傾斜液状化地盤と群杭基礎との相互作用について，加速度や過剰間隙水圧といった地盤応答や，杭の曲げモーメント分布の分析に基づき検討した．2016年熊本地震の際に宇城市で発生した埋設水道管網の被害に基づいて被害関数

を推定する方法について検討した。既往の研究と同様な関数形を仮定して小管径の延性素材の水道管の被害関数の推定を試みたが、ノードの数に対する被害データが少なすぎるため、安定した解が得られなかった。次に、既往の被害関数から推定されるパラメータ分布を考慮し、推定した8つのPGV分布に対してそれぞれベイズ更新によって被害関数を推定したところ、既往の被害関数と同様な結果が得られたものの、ばらつきが大きい結果となった。そこで、全8ケースの推定PGV分布を用いたベイズ更新によって被害関数の推定を行ったところ、既往研究よりもばらつきの小さい被害関数を得ることができた。

3) 強震時の表層地盤の非線形応答に関する観測的研究と、陸域と海域の連続震動記録を用いた観測点グリーン関数評価を高度化する研究を行った。前者は、2021年2月13日福島沖の地震($M_j7.3$)において、震度6強(計測震度6.4)相当値を観測した、KiK-net MYGH10(宮城県山元町)の地盤震動特性を、弱震時のそれと比較し、強震時に表層地盤の非線形応答が起きたことを確認した。後者は、南海トラフ震源域直上の海底地震観測網DONETと紀伊半島の陸域地震観測網Hi-netの相互相関関数による観測点間グリーン関数の信頼性を深層学習によって高める手法を開発した。2016年熊本地震を対象に、熊本県益城町での液状化を考慮した面的強震動予測を行い、建築年代を考慮した被害予測を行った。等価線形解析と比べて、液状化を考慮した強震動予測では益城町南部でPGAが減少しかつPGVの大きい領域が生じた。その予測地震動を使用した建物被害予測では、古い年代の建物で大きな被害が発生していることが分かり、帯状の被害分布を概ね再現できた。しかし、被害率の絶対値は観測よりも小さく、これは被害予測モデルと観測記録とで被害判定基準が異なることや熊本の本物の地域特性を完全に反映できていないことなどが理由と考えられる。表層地盤構造の構造物被害や地震動に与える影響を調べるため、台湾花蓮市内において、微動アレー計測を行った。花蓮市内を横切る東西測線、および建物の倒壊が複数集まっている米崙山西側の領域を中心として、合計64カ所において5台の地震計を用いてアレー微動計測を実施した。米崙断層の東側では $V_s < 400$ mの比較的柔らかい層が非常に薄く、西側では50 m程度と厚く堆積している。このように、断層を挟んだ東西で表層地盤構造に違いがあることが確認できた。邑知瀉平野は石川県中部に分布する邑知瀉断層帯に接する平野であり、邑知瀉断層帯は今後30年の地震発生確率が日本の主な断層帯の中ではやや高いグループに属している。このため、邑知瀉平野における地震動の適切な推定に不可欠な地盤増幅特性を評価するために、地盤構造を推定する目的で微動観測を行った。その結果、邑知瀉平野北東部では北西縁に盆地と山の境界が存在していることが分かった。また、南東に向かうにつれて深くなる構造であり、南西から北東に向かう方向に深くなる構造であることが分かった。一方、観測した範囲の南東縁では盆地境界には達していなかった。京都盆地南東部において、観測微動水平上下スペクトルのピーク振動数や方位依存係数などの常時微動特性と京都盆地の基盤形状との対応について調査した。また、方位依存係数が最大となる方位と盆地端部の形状の比較により、微動水平上下スペクトル比の方位依存性が盆地端部形状の影響を強く受けることが明らかとなった。

4) 大阪北部地震の病院での医療サービス提供に関する影響について、質問紙調査を行い、各病院における地震動推計結果との比較から、地震動と医療機能について影響の関係を明らかにし、医療機能の地震時の影響評価手法の開発のための基礎的情報を得た。

[研究成果の公表]

浅野晃太, 後藤浩之, 奥村与志弘, 澤田純男, 2018年大阪府北部の地震における高槻市・茨木市の建物被害分布と要因に関する地理学的考察, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), 印刷中。

Gehl, Pierre, Shinichi Matsushima, Shunsuke Masuda, Investigation of damage to the water network of Uki City from the 2016 Kumamoto earthquake: derivation of damage functions and construction of infrastructure loss scenarios, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 19, pp.685-711, 2020.11.

LIU, Zhiwei, Shinichi MATSUSHIMA, Teru ITO, Differences in Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios of

- Microtremors due to Basin Geometry at the Eastern Boundary of Kyoto Basin, 令和2年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, A202, 2021. 2.
- 松島信一, Pierre GEHL, 2016年熊本地震による宇城市での被害情報に基づく水道管ネットワークの被害関数の構築, 令和2年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, A303, 2021. 2.
- 中山智貴, 松島信一, 常時微動を用いた呂知潟平野北東部における地盤構造推定 令和2年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, P119, 2021. 2.
- SAHARE, Anurag, Kyohei UEDA, Ryosuke UZUOKA, Frequency Based Analysis of Piled-Raft Foundation during an Earthquake: Centrifuge Modeling and Numerical Investigations, 令和2年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会, D110, 2021. 2.
- Sekiguchi, H., K. Asano, T. Iwata and H. Uebayashi, Ground motion simulation of an Mw 5.5 earthquake in the Osaka Basin, Japan, AGU Fall meeting, S060-0008, 2020.12.
- Sun, Jikai, Fumiaki Nagashima, Hiroshi Kawase, and Shinichi Matsushima, Site Effects Analysis of Shallow Subsurface Structures at Mashiki Town, Kumamoto, Based on Microtremor Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 110 (6): 2912–2938, doi: 10.1785/0120190318, 2020.9.
- Sun, Jikai, Fumiaki Nagashima, Hiroshi Kawase, Shinichi Matsushima, and Baoyintu, Simulation of Building Damage Distribution in Downtown Mashiki, Kumamoto, Japan Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake Based on Site-specific Ground Motions and Nonlinear Structural Analyses, *Bull. Earthq. Eng.* (published online), doi:10.1007/s10518-021-01119-8, 2021.5.
- Sun, J., H. Kawase, F. Nagashima, and S. Matsushima, STRONG MOTION SIMULATION IN DOWNTOWN MASHIKI DURING 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE TO REPRODUCE THE DAMAGE BELT, 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020, paper No.1g-007, 2020.9.
- SUN, Jikai, NAGASHIMA Fumiaki, KAWASE Hiroshi, MATSUSHIMA Shinichi, Simulation of Building Damage Distribution in Downtown Mashiki, Kumamoto, during the 2016 Kumamoto Earthquake, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) 2020 年 9 月, B-II, 21111, 2020.9.
- Viens, L. and T. Iwata, Improving the retrieval of offshore-onshore correlation functions with machine learning, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 125, doi:10.1029/2020JB019730, 2020.8.
- Yamada, M., I. Cho, CH Kuo, CM Lin, K. Miyakoshi, Y. Guo, T. Hayashida, Y. Matsumoto, J. Mori, YT Yen, and KC Kuo, Shallow Subsurface Structure in the Hualien Basin and Relevance to the Damage Pattern and Fault Rupture during the 2018 Hualien Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 110(6), pp.2939-2952, <https://doi.org/10.1785/0120200063>, 2020.12.