

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24310133

研究課題名(和文) 地震津波複合災害時におけるライフラインの被害推計と応急復旧過程のモデル化

研究課題名(英文) Modeling of damage and restoration process of lifelines in an extreme complex seismic and tsunami disaster

研究代表者

庄司 学 (Shoji, Gaku)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：60282836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ライフラインシステムの中でも電力、都市ガス、上水道・下水道、道路網、通信に焦点をあて、東日本大震災のような地震と津波の作用が複合化する「地震津波複合災害」を対象とした上で、ライフラインシステムの物理的及び機能的被害と復旧支障の相互関係を精度よく表現する数理モデルを構築し、被害を受けた後の応急復旧過程の問題構造を定量的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Infrastructures such as road structural systems, water treatments, electric power and gas supply systems and telecommunication networks were severely damaged due to the 2011 Tohoku earthquake and tsunami, and it caused malfunctions of our interconnected societal and economical activities. The associated big data on physical damage and functional disruption of the infrastructures by the ground excitation, tsunami and liquefaction were collected and quantitatively summarized. Seismic and tsunami damage functions were statistically modeled and used for understanding the novelty of the infrastructure damage in the 2011 Tohoku earthquake and tsunami, classified as an extreme complex seismic and tsunami disaster. Reasonable application of these damage functions for predicting the risks of infrastructural physical damage and restoration process by the anticipated megatrast earthquake and tsunami was also shown in order to reduce the future extreme complex disasters.

研究分野：ライフライン地震津波工学

キーワード：ライフライン防災 地震津波 複合災害 被害推計 応急復旧

### 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、東日本大震災のような地震と津波が複合作用する災害を対象とした既往の研究事例は皆無に等しく、地震津波複合災害時におけるライフラインの物理的及び機能的被害と復旧支障の相互連関を精度よく表現する数理モデルは構築されていなかった。このようなモデル構築の学術的意義としては、ライフラインシステムの復旧支障を最小化し、復旧効率化に資するライフラインのシステム性能を明らかにできる点にある。研究成果の社会還元観点からは、自治体やライフライン事業者という管理主体による片方向の地震津波対策だけでなく、ライフラインのユーザーの視点を考慮した双方向の地震津波対策に繋がり、地震津波対策が課題となっている地域においてシステム的な防災・減災対策に結びつくことで、ライフライン被害総量を低減することが可能になると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的としては、ライフラインシステムの中でも電力、都市ガス、上水道・下水道、道路網、通信に焦点をあて、東日本大震災のような地震と津波の作用が複合化する「地震津波複合災害」を対象とした上で、ライフラインシステムの物理的及び機能的被害と復旧支障の相互連関を精度よく表現する数理モデルを構築し、応急復旧過程の問題構造を定量的に明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

4年間の研究期間の中で、研究初年度及び2年目においては、対象とするライフラインの東日本大震災における物理的及び機能的被害に関わるデータ収集と分析を行ない、異種ライフライン間の被害の相互連関を考慮した高精度な「物理的・機能的被害推計モデル」を構築した。

研究3年目及び最終年度においては、データ精査を進捗させ、「物理的・機能的被害推計モデル」の修正をはかるとともに、研究代表者が先行研究で開発を進めてきた応急復旧過程を定量的に記述するネットワークモデルの数理ロジックを地震津波複合災害の場合に拡張し、「物理的・機能的被害推計モデル」と連結させ、応急復旧過程を定量的に表現する「応急復旧過程俯瞰モデル」を構築した。

### 4. 研究成果

第1には、「物理的・機能的被害推計モデル」の根幹要素となる地震津波被害関数を構築・高精度化した。具体的には、電力・停電被害、道路網・橋梁被害、上水道・下水道及び通信の埋設管路被害にフォーカシングし、強震動及び液状化が支配的な被害データと津波作用が支配的な被害データに区分した上で、各ライフラインの属性データの観点か

ら地震動強さ及び津波作用と各ライフラインの被害率あるいは被害確率の定量関係をモデル構築した。

第2には、復旧時間、復旧箇所などの応急復旧過程を記述する時空間情報と、モデル構築された地震津波被害関数を連結させることにより、応急復旧過程の遅延を連続的・統合的に評価可能な「応急復旧過程俯瞰モデル」の数理ロジックを明らかにした。

第3には、東日本大震災を受け今後発生が懸念される茨城県沖及び房総沖の地震津波や南海トラフ巨大地震津波と、それらに暴露される地域に分析対象を限定し、両モデルより得られる高精度な応急復旧シナリオに基づき、ライフラインシステムに求められるシステム性能を明らかにした上で、これらの管理運営を担う地方自治体などの地震津波防災対策の効率化に役立ち、対象地域のライフライン被害総量の低減に資する被害推計結果を得た。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計31件)

1. 橋本隆雄, 安田進, 庄司学: 東日本大震災による神栖市深芝・平泉地区の採掘跡地における液状化被害の分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4 (地震工学論文集第 33-b 巻), pp.I\_376-I\_386, 2015, 査読有り.
2. 永田茂, 丸山喜久, 庄司学: 既往の上水道配水管の地震被害予測式の予測精度に関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4 (地震工学論文集第 33-b 巻), pp.I\_50-I\_61, 2015, 査読有り.
3. Yagi, Y., Okuwaki, R., Enescu, B., and Fukahata, Y., 2015, Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, Earth, Planets and Space, 67, 1-7, 査読有り.
4. 庄司学, 寺嶋黎, 永田茂: 下水道埋設管路の地震被害率曲線の構築, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4 (地震工学論文集第 33-b 巻), pp.I\_921-I\_946, 2014, 査読有り.
5. Shoji, G. and Nakamura, T.: Development of damage functions on road infrastructures subjected to extreme ground excitations by analyzing damage in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Journal of Disaster Research, Vol.9, No.2, pp.121-127, 2014, 査読有り.
6. Yagi, Y., Okuwaki, R., Enescu, B., Hirano, S., Yamagami, Y., Endo, S., and Komoro, T., 2014, Rupture process of the 2014 Iquique Chile earthquake in relation with the foreshock activity, Geophys. Res. Lett., 41, 4201-4206, 査読有り.
7. 築地拓哉, 寺嶋黎, 庄司学, 永田茂: 2011

- 年東北地方太平洋沖地震において被災した上水道配水管網の被害の傾向—茨城県潮来市および神栖市の事例分析—, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.69, No.4 (地震工学論文集第 32-b 巻), pp.I\_260-I\_279, 2013, 査読有り.
8. Mitsui, Y. and Yagi, Y., 2013, An interpretation of tsunami earthquake based on a simple dynamic model: Failure of shallow megathrust earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1523–1527, 査読有り.
  9. 羽深裕希, 丸山喜久, 胡内健一: タクシープローブと VICS の相関性に基づく自然災害時の道路交通状況の予測 地域安全学会論文集, No.21, pp. 37-44, 2013, 査読有り.
  10. 小林朋美, 山崎文雄, 丸山喜久: 道路網の GIS データに基づく上水道管路の分布推定, 地域安全学会論文集, No.21, pp. 267-274, 2013, 査読有り.
  11. 川口裕樹, 武田正紀, 丸山喜久: 木造建物の解体を考慮した東京都の災害廃棄物の予測, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.59A, pp. 396-404, 2013, 査読有り.
  12. Shoji, G., Takahashi, D., Tsukiji, T. and Naba, S.: Damage assessment on electric power failures during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Journal of Disaster Research*, Vol.7, No.sp, pp.491-499, 2012, 査読有り.
  13. 那波悟志, 築地拓哉, 庄司学, 永田茂: 2011 年東北地方太平洋沖地震における上水道および下水道の被害分析—茨城県および千葉県の情報の得られた被災都市の傾向—, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.4 (地震工学論文集第 31-b 巻), pp.I\_1194-I\_1209, 2012, 査読有り.
  14. Shoji, G. and Toyota, A.: Function of emergency road networks during the post-earthquake process of lifeline systems restoration, *Journal of Disaster Research*, Vol.7, No.2, pp.173-183, 2012, 査読有り.
  15. Yagi, Y., Nakao, A., and Kasahara, A., 2012, Smooth and rapid slip near the Japan Trench during the 2011 Tohoku-oki earthquake revealed by a hybrid back-projection method, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 355, 94-101, 査読有り.
  16. 丸山喜久, 山崎文雄: 東京湾北部地震における上水道管と木造建物被害の相関性の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 4, pp.I\_950-I\_958, 2012, 査読有り.
- [学会発表](計 45 件)
1. 庄司学, 宮崎史倫, 若竹雅人, 伊藤陽, 鈴木崇伸: 通信埋設管路の地震対策に活用するスクリーニング手法の提案及び地震被害関数の構築, 第 35 回土木学会地震工学研究発表会, 東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区), 2015.10.7.
  2. 庄司学, 高橋大: Twitter を利用した地震災害時における停電情報の時空間分布のセンシング, 平成 27 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 長崎大学 (長崎県長崎市), 2015.8.27.
  3. 庄司学, 岸太陽, 宮崎史倫, 若竹雅人, 伊藤陽, 鈴木崇伸: 東北地方太平洋沖地震の作用を受けた通信埋設管の被災分析, 第 14 回日本地震工学シンポジウム, 幕張メッセ (千葉市美浜区), 2014.12.4.
  4. 庄司学, 築地拓哉: 液状化被害を受けた埋設管路・敷設下の工学的基盤に入射した地震波の特徴, 第 14 回日本地震工学シンポジウム, 幕張メッセ (千葉市美浜区), 2014.12.4.
  5. Takahashi, K. and Shoji, G.: Damage assessment of bridges subjected to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami by analyzing satellite images, The Second International Symposium on Earthquake Engineering, Japan Association for Earthquake Engineering, 2013.11.12, National Olympics Memorial Youth Center (NYC), Shibuya-ku, Tokyo, Japan.
  6. Nakamura, T. and Shoji, G.: Damage assessment of road bridges due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami, The Second International Symposium on Earthquake Engineering, Japan Association for Earthquake Engineering, 2013.11.12, National Olympics Memorial Youth Center (NYC), Shibuya-ku, Tokyo, Japan.
  7. Tsukiji, T. and Shoji, G.: Development of damage functions on water supply systems subjected to an extreme ground motion, The 11th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR2013), Columbia University, New York, USA, June 16-20, 2013.
  8. 庄司学, 築地拓哉: 地震時の停電に関する被害関数の提案とその適用, 平成 25 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 北見工業大学 (北海道北見市), 2013.9.6.
  9. Naba, S., Tsukiji, T., Shoji, G. and Nagata, S.: Development of damage functions on sewer buried pipelines subjected to an extreme ground motion from damage assessment of the data in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, The First International Symposium on Earthquake Engineering, Japan Association for Earthquake Engineering, 2012.11.9, National Olympics Memorial Youth Center (NYC), Shibuya-ku, Tokyo, Japan.
  10. Shoji, G., Takahashi, D. and Tsukiji, T.: Electric Power failures due to a seismic hazard, The 5th International Symposium on

Computational Intelligence and Industrial Applications, Round Table Discussion, 2012.8.25, Hokkai-Gakuen University, Sapporo, Hokkaido, Japan.

11. Takahashi, K., Shoji, G. and Nakamura, T. : Tsunami damage detection on road infrastructures subjected to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami, The 1st Asian Conference on Urban Disaster Reduction, Institute of Social Safety Science, 2012.8.3, Washington Hotel Iwaki, Iwaki, Fukushima, Japan.

〔図書〕(計4件)

1. 八木勇治, 大澤義明編: 巨大地震による複合災害 発生メカニズム・被害・都市や地域の復興, 筑波大学出版会, 2015.11 (庄司学 分担: 第7章 社会的基盤施設の被害とその設計, 7.1 社会的基盤施設の被害, コラム, pp.115-125, p.135)
2. 村尾修: 7.1 施設を用いた津波避難対策の経緯と東日本大震災被災地における津波避難施設の利用状況, (第7章 津波避難施設の現状と今後の課題), 東日本大震災合同調査報告, 建築編5 津波の特性と被害, 日本建築学会, pp. 221-226, 2015.3.
3. 村尾修: 建築・空間・災害, リスク工学シリーズ10, コロナ社, 172, 2013.9.

〔その他〕

研究成果に関連したホームページ等  
巨大地震による複合災害の統合的リスクマネジメント: <http://megaquake.tsukuba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

庄司 学 (SHOJI, Gaku)  
筑波大学・システム情報系・准教授  
研究者番号: 60282836

(2)研究分担者

八木 勇治 (YAGI, Yuji)  
筑波大学・生命環境系・准教授  
研究者番号: 50370713

永田 茂 (NAGATA, Shigeru)  
鹿島建設株式会社・技術研究所・上席研究員  
研究者番号: 50217999

丸山 喜久 (MARUYAMA, Yoshihisa)  
千葉大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 70397024

村尾 修 (MURAO, Osamu)  
東北大学・災害科学国際研究所・教授  
研究者番号: 70292753

(3)連携研究者

藤井 雄士郎 (FUJII, Yushiro)  
建築研究所・国際地震工学センター・主任  
研究員  
研究者番号: 60442836