

令和元年6月13日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06618

研究課題名（和文）給排水ライフラインの機能維持と災害レジリエンス向上に関する研究

研究課題名（英文）Study on Maintaining Water Supply and Wastewater Lifeline Functions and Improving Disaster Resilience

研究代表者

西川 豊宏（NISHIKAWA, TOYOHIRO）

工学院大学・建築学部（公私立大学の部局等）・教授

研究者番号：80594069

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：建築物における給排水設備のライフラインの災害リスクと雨水利活用に関する調査では、自然災害による水のライフライン途絶時の雨水利活用を想定した離島におけるフィールドワーク、事務所ビルの管理データを活用した生活用使用水量と降水特性の関係分析により、公共上下水道からの水供給の自立性を定量的に予測した。また、給排水設備の災害回復性の予測では、大規模地震における配管システムの脆弱箇所の特定と耐震ブレースの有効性を定量的に評価した。これらの研究成果は、国内外学協会への学術論文の投稿や口頭発表によって情報発信されるとともに、各種講演会やシンポジウムの開催により広く社会へ公表された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然災害が頻発する我が国においては、適切なライフラインの維持と再構築が喫緊の課題とされている。自然災害における建築設備被害の実態調査から、大規模地震を起点とした体系的な建築設備の災害リスク評価へ発展するべく、本研究では、地震動に対する設備システムの耐震性能や損傷確率の算定に加え、建築物の雨水利活用による公共上下水道からの自立性評価へと展開した。建築物における給排水機能の災害回復性を大規模地震からゲリラ豪雨や長雨などの降水特性変化への対応に研究対象を水平展開した本研究の成果が、建築設備の機能性と災害リスク評価の学術的、社会的な知見の融合への一助になれば幸いである。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to investigate what contributes to better functional restoration of water supply and wastewater facilities after an unexpected natural disaster. In a study on rainwater use and disaster risk of lifelines, specifically the water supply and wastewater facilities in buildings, the autonomy of the water supply from public utilities was evaluated based on a field survey on remote islands, which are expected to use rainwater in the event of a disruption in the water lifeline due to a natural disaster. In addition, the relationship between daily water consumption and rainfall characteristics using management data of office buildings was evaluated. In addition, numerical analysis was performed to identify the vulnerable points of piping systems subjected to major earthquakes and to quantitatively assess the effectiveness of seismic braces. The findings were widely publicized through scientific papers and oral presentations, as well as various symposium.

研究分野：建築環境設備

キーワード：給排水 雨水利活用 ライフライン 自然災害 レジリエンス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、建築構造のみならず、建物のライフライン機能をつかさどる建築設備被害が多岐多数発生し、エネルギー供給はもとより、水の供給や処理といった給排水衛生設備の脆弱性が顕在化した。自然災害が頻発する我が国においては、適切なライフラインの維持と再構築が喫緊の課題とされており、災害レジリエンス向上の観点から建築物のハード面（施設側）とソフト面（運用側）の双方から戦略的で系統化された対策が求められている。発災後の生命維持活動や居住環境確保の観点からも給排水設備の果たす役割は大きいものの、近年の技術進歩に現行の技術基規準が追従できていないことが課題であった。

2. 研究の目的

災害に対する建築物の脆弱性を過去の被害事例から整理し、被害を防ぐ（防災）と共に極小化する（減災）するための効果的かつ戦略的な給排水ライフラインのありかたについて評価することを目的としている。

3. 研究の方法

()給排水ライフラインの災害リスクと雨水利活用に関する調査・評価、()給排水設備ライフラインの災害回復性評価、()設備機器・器具、配管等の開発と実験、()確率論的破壊力学に基づく給排水設備の災害リスク評価の4つの柱（テーマ）で構成されており、それぞれを有機的に連携させた。

4. 研究成果

()給排水ライフラインの災害リスクと雨水利活用に関する調査・評価：

過去の自然災害による被害やその対策動向、雨水利活用に関する地域別水賦存特性については、離島におけるフィールド調査や雨水利用設備が導入された事務所建物で収集した管理データを活用し、降水特性に対する雨水備蓄量の最適設計を支援するための基礎評価を行った。これら一連の研究調査の結果は、日本建築学会環境基準雨水活用建築ガイドライン（AIJES-W0002-2019）の改定に寄与するとともに、審査付き論文（雑誌論文^{2),3)}）2件、学会発表^{例えば9)、42)、1)、27)~30)}など論文としてまとめられ、公表された。

()給排水設備ライフラインの災害回復性評価：

建物内に配置されている消火設備を含む給排水設備システムを電算機上でモデル化し、数値計算により災害に対する脆弱箇所を特定した。また、数値計算に用いる境界条件等は、()の調査知見を参考に、()実験評価で得られたデータを活用することで、耐震性能の評価結果の信頼性向上と有効な耐震補強の効果を定量化した。ここでの研究成果は、審査付き論文（雑誌論文⁴⁾）1件、学会発表^{例えば11)、16)、41)、2)、4)~6)}など論文としてまとめられ、公表された。

()設備機器・器具、配管等の開発と実験：

数値計算による物理現象の再現が困難な地震挙動や機器破損のメカニズムについては、地震動に対する脆弱性が指摘されているスプリンクラー設備の末端部（巻き出し配管およびヘッド周辺）の挙動を振動台による実大実験により再現した。実験で得られたデータは、数値解析の境界条件にフィードバックした。ここでの研究成果は、審査付き論文（雑誌論文¹⁾）1件、学会発表論文^{例えば7)、19)、20)、45)、46)}などとしてまとめられ、公表された。

()確率論的破壊力学に基づく給排水設備の災害リスク評価：

事業継続性向上のための災害対策を立案し、リスク（危機）とそれに対するベネフィット（便益）の相反性を数値計算により定量化するため、()と()で得られた知見を活用し、工学院大学新宿キャンパスの給排水設備をモデルとしたシステムの損傷確率を算定し、大地震を想定した災害リスク評価を行った。ここでの研究成果は学会発表^{例えば25)、8)、18)、39)}など論文としてまとめられ、公表された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- 1) 矢ヶ崎啓介,西川豊宏, 数値計算に基づくスプリンクラー設備の耐震性能評価 建築の非構造部材・建築設備の耐震補強と改修に関する研究(その3), 日本建築学会技術報告集, Vol.25 No.59 pp.249-253, 2019年2月
- 2) 西川豊宏,浅倉佑介, 事務所建物における給水原単位と雨水利用に関する調査研究 第1報 実測データに基づく水使用実態と雨水利用設備容量の評価, 空気調和・衛生工学会論文集, Vol.43 NO.252 31-36, 2018年3月5日
- 3) 西川豊宏, 事業系一般廃棄物による単位給水量の推算に関する一考察, 空気調和・衛生工学会論文集, No.234 pp.1-6, 2016年9月5日
- 4) 西川豊宏, 米山嘉貴, 超高層建築物のスプリンクラー設備における耐震補強と改修に関する研究, 配管技術, Vol.58 no.2 pp.6-11, 2016年2月1日

〔学会発表〕(計 55 件)

- 1) 赤坂昌哉, 西川豊宏, 浅倉佑介, 事務所建物における雨水利用設備の蓄雨性能評, 空気調和・衛生工学会大会(名古屋), 2018年9月12日
- 2) 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 事業継続計画策定における建築設備の地震リスクに関する研究(第8報) 超高層建築における給水自給率について, 空気調和・衛生工学会大会(名古屋), 2018年9月12日
- 3) 浅倉佑介, 西川豊宏, 赤坂昌哉, 事務所建物における水使用と給水原単位に関する調査, 空気調和・衛生工学会大会(名古屋), 2018年9月12日
- 4) 渡辺荘児(森ビル), 西川豊宏, 大橋一正, 田口茂敏, 矢ヶ崎啓介, 菅野晃平, 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その15) 実使用量に基づく超高層建築の給水自給率予測と非常災害用井戸による対策事例, 日本建築学会大会(東北), 2018年9月4日
- 5) 田口茂敏(墨田区役所), 西川豊宏, 大橋一正, 渡辺荘児, 矢ヶ崎啓介, 菅野晃平, 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その14) 水槽を有する超高層建築における地震時の給水自給率について, 日本建築学会大会(東北), 2018年9月4日
- 6) 菅野晃平(東電設計), 西川豊宏, 大橋一正, 渡辺荘児, 田口茂敏, 矢ヶ崎啓介, 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その13) 水槽を有する超高層建築における地震時の水賦存量の予測, 日本建築学会大会(東北), 2018年9月4日
- 7) 矢ヶ崎啓介(三井住友建設), 西川豊宏, 大橋一正, 渡辺荘児, 田口茂敏, 菅野晃平, 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その12) 超高層建築の給排水衛生設備の耐震性能について, 日本建築学会大会(東北), 2018年9月4日
- 8) 赤坂昌哉, 西川豊宏, 浅倉佑介, 実測調査に基づく建築物の水使用特性と給水原単位の評価(その3) 雨水利用設備容量と蓄雨性能の評価, 日本建築学会大会(東北), 2018年9月4日
- 9) Toyohiro NISHIKAWA, Ryuji YAMAZAKI(Ishimoto Architectural & Engineering Firm), Assessment of BCP for plumbing systems of mid-size office buildings, 44rd International Symposium of CIB W062, 2018年8月29日
- 10) Atsuya AKASAKA, Toyohiro NISHIKAWA, Rain stock performance of rainwater harvesting equipment installed in office building, 44rd International Symposium of CIB W062, 2018年8月29日
- 11) Keisuke YAGASAKI, Toyohiro NISHIKAWA, Self-sufficiency-rate Prediction of Water Supplies Post Occurrence of Large-scale Earthquakes, 44rd International Symposium of CIB W062, 2018年8月28日
- 12) Yusuke ASAKURA, Toyohiro NISHIKAWA, A survey on water consumption and unit design water supply amounts in office buildings, 44rd International Symposium of CIB W062, 2018年8月28日
- 13) Hiroyuki KOSE, User's Behavior and Manners in a Water Park - Case Study in Katsushika and Edogawa City, 44th International Symposium of CIB W062 (Ponta Delgada), 321 - 330, 2018年08月
- 14) Tamio Nakano, Research which Applies the Concept of BCP in a Company to the Concept of LCP in a Home in Japan, 44th International Symposium of CIB W062 Water Supply and Drainage for Buildings, Buildings, Azores, Portugal, 340-346 (2018)
- 15) 安江朱音, 中野民雄, 若年層の防災意識の向上と日常生活に寄り添う防災に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 pp.653-654 2018年8月
- 16) Keisuke YAGASAKI, Toyohiro NISHIKAWA, Maintaining the Functionality of a Plumbing System, 43rd International Symposium of CIB W062, 2017年8月24日
- 17) Hiroyuki KOSE, Tamio NAKANO, Toyohiro NISHIKAWA, Quantitative Evaluation Method of Resource and Energy Conservation in a Water Supply and Drainage System, 43rd International Symposium of CIB W062, 2017年8月
- 18) 浅倉佑介, 西川豊宏, 実測調査による給水原単位と雨水利用の評価に関する研究, 空気調和・衛生工学会 平成29年度大会(高知), 2017年9月14日
- 19) 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 事業継続計画策定における建築設備の地震リスクに関する研究(第7報), 空気調和・衛生工学会 平成29年度大会(高知), 2017年9月14日
- 20) 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その11) 給排水衛生設備の耐震性能予測, 日本建築学会大会(中国), 2017年9月3日
- 21) 浅倉佑介, 西川豊宏, 実測調査に基づく建築物の水使用特性と給水原単位の評価(その2), 日本建築学会大会(中国), 2017年9月2日
- 22) 西川豊宏, 浅倉佑介, 実測調査に基づく建築物の水使用特性と給水原単位の評価(その1) 実測の概要と水使用量について, 日本建築学会大会(中国), 2017年9月2日

- 23) 中野民雄, 東海地域の大学における BCP 策定に関する研究 (第 4 報) 静岡県西部地域の災害対策の現況と想定主義からの脱却, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp.133-136 2017 年 9 月
- 24) Hiroyuki KOSE, Tamio NAKANO, Toyohiro NISHIKAWA, Quantitative Evaluation Method of Resource and Energy Conservation in a Water Supply and Drainage System, 43rd International Symposium of CIB W062, 2017 年 8 月 23 日
- 25) Toyohiro NISHIKAWA, Evaluation of unit design water supply amounts and characteristic of water consumption based on measured building, 43rd International Symposium of CIB W062, 2017 年 8 月 23 日
- 26) 笠井利浩, 戸建住宅用コンピュータ制御式雨水利用装置の開発と運用, 日本建築学会 (中国), 2017 年
- 27) 笠井利浩, 近藤晶, 長崎県五島列島赤島における雨水活用システムの構築, 日本雨水資源化システム学会 第 25 回研究発表会, 2017 年
- 28) 近藤晶, 笠井利浩, 雨水活用による五島列島赤島活性化プロジェクトの広報活動, 日本雨水資源化システム学会 第 25 回研究発表会, 2017 年
- 29) 野村利空, 表寺佳奈, 笠井利浩, 長崎県五島列島赤島における雨水貯留槽の水質調査, 日本雨水資源化システム学会 第 25 回研究発表会, 2017 年
- 30) 林大就, 笠井利浩, 長崎県五島列島赤島の雨水利用状況調査, 日本雨水資源化システム学会 第 25 回研究発表会, 2017 年
- 31) 藤原明広, 笠井利浩, 水中ロボットによる雨水貯留層内調査に関する試み, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 30 日
- 32) 近藤晶, 笠井利浩, 蓄雨解説アニメーションの制作プロセスと視聴概況, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 30 日
- 33) 笠井利浩, 戸建住宅用スマート雨水タンクの開発と蓄雨性能評価, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 29 日
- 34) 堂森新, 笠井利浩, 戸建住宅用スマート雨水タンクの制御装置の開発と運用, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 29 日
- 35) 尾崎唯衣, 寿佳奈, 下出麻菜美, 塚本遥香, 土井潮音, 笠井利浩, 大西和也, 人工降雨装置の開発と評価, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 29 日
- 36) 寿佳奈, 尾崎唯衣, 下出麻菜美, 塚本遥香, 土井潮音, 笠井利浩, 大西和也, 降雨による屋根堆積物の流出特性に関する研究, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 29 日
- 37) 土井潮音, 尾崎唯衣, 寿佳奈, 下出麻菜美, 塚本遥香, 笠井利浩, 大西和也, フローテーション法による貯留雨水の水質浄化に関する研究, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 29 日
- 38) 豊岡佑馬, 笠井利浩, IoT を活用した雨水利用都市型洪水緩和システムの開発, 日本雨水資源化システム学会 第 24 回研究発表会, 京都大学農学部, 2016 年 10 月 29 日
- 39) 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 米山嘉貴, 事業継続計画策定における建築設備の地震リスクに関する研究 (第 6 報) 地震時におけるスプリンクラー配管の損傷確率, 空気調和・衛生工学会学術講演会, 2016 年 9 月 15 日
- 40) 中野民雄, 東海地域の大学における BCP 策定に関する研究 (第 3 報) 災害時における給排水衛生設備の対応, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp.1-4 2016 年 9 月
- 41) Keisuke Yagasaki, Toyohiro Nishikawa, Yoshiki Yoneyama, Study on maintaining the function of plumbing system during earthquake, 42'nd international symposium of CIB W062 on water supply and drainage for buildings, Košice, Slovakia, 2016 年 8 月 31 日
- 42) Yoshiki Yoneyama, Toyohiro Nishikawa, Reduction in carbon dioxide emission of buildings by water recycling and rainwater harvesting, 42'nd international symposium of CIB W062 on water supply and drainage for buildings, Košice, Slovakia, 2016 年 8 月 31 日
- 43) Kohei Iijima, Toyohiro Nishikawa, Estimation of unit of design water supply amount based on municipal solid waste, 42'nd international symposium of CIB W062 on water supply and drainage for buildings, Košice, Slovakia, 2016 年 8 月 30 日
- 44) 西川豊宏, 飯嶋航平, 米山嘉貴, 【選抜梗概】再生水・雨水利用設備が設置された建築物の給水原単位と CO2 排出量の調査, 日本建築学会大会学術講演会, 2016 年 8 月 24 日
- 45) 矢ヶ崎啓介, 西川豊宏, 大橋一正, 米山嘉貴, 島倉雅宗, 事業継続計画策定を支援する建築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究 (その 10) 実験結果に基づく建築設備配管を吊り支持する吊りボルトの耐震性能予測, 日本建築学会大会学術講演会, 2016 年 8 月 24 日
- 46) 島倉雅宗, 西川豊宏, 大橋一正, 米山嘉貴, 矢ヶ崎啓介, 事業継続計画策定を支援する建

- 築の非構造部材・建築設備の地震リスクに関する研究(その 9) 数値計算によるスプリンクラー配管の耐震性能予測, 日本建築学会大会学術講演会, 2016年8月24日
- 47) 笠井利浩, 大西和弥, 雨水活用技術規準に基づく雨水活用施設の評価事例, 2016年度日本建築学会大会(九州) 学術講演会研究発表梗概集, pp.717-720
 - 48) 山田岳之, 笠井利浩, LCAによる雨水タンクの評価 - 地下梁を利用した雨水タンクの優位性 -, 2016年度日本建築学会大会(九州) 学術講演会研究発表梗概集, pp.729-732
 - 49) 笠井利浩, 戸建住宅用スマート雨水タンクの開発と蓄雨性能評価, 日本雨水資源化システム学会 第24回研究発表会 講演要旨集 pp.34-37, 2016年
 - 50) 堂森新, 笠井利浩, 戸建住宅用スマート雨水タンクの制御装置の開発と運用, 日本雨水資源化システム学会 第24回研究発表会 講演要旨集 pp.38-42, 2016年
 - 51) 尾崎唯衣, 寿佳奈, 下出麻菜美, 塚本遥香, 土井潮音, 笠井利浩, 大西和也, 人工降雨装置の開発と評価, 日本雨水資源化システム学会 第24回研究発表会 講演要旨集 pp.43-46, 2016年
 - 52) 笠井利浩, 大西和弥, 雨水活用技術規準に基づく雨水活用施設の評価事例, 2016年度日本建築学会大会(九州), 福岡大学, 2016年8月24日
 - 53) 山田岳之, 笠井利浩, LCAによる雨水タンクの評価 - 地下梁を利用した雨水タンクの優位性 -, 2016年度日本建築学会大会(九州), 福岡大学, 2016年8月24日
 - 54) 大西和弥, 青木一義, 神谷博, 屋井裕幸, 岡田誠之, 笠井利浩, 小川幸正, 雨水利用施設の放射性物質による汚染調査, 2016年度日本建築学会大会(九州), 福岡大学, 2016年8月24日
 - 55) 中野民雄, 東海地域の大学におけるBCP策定に関する研究(第2報) BCPの概念を導入したLCPへの展開, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp.105-108 2015年9月

〔図書〕(計4件)

- 1) 西川豊宏(監修)他, 図解入門 現場で役立つ管工事の基本と実際, 株式会社 秀和システム, 2017年9月15日
- 2) 西川豊宏、他13名(共著), 空気調和・衛生工学会, 給排水衛生設備計画設計の実務の知識(改訂4版), 株式会社オーム社, 9章3-4節, pp.305-311, 2017年3月25日
- 3) 笠井利浩 他(共著), 日本建築学会環境基準 雨水活用技術規準 AIJES-W0003-2016, 担当: pp.2-4, pp.19-20, pp.42-44, pp.53-55, p.56, 2016/03/05
- 4) 笠井利浩 他(共著), 中谷剛, 三隅良平 監修, 豪雨のメカニズムと水害対策 - 降水の観測・予測から浸水対策、自然災害に強いまちづくりまで -, 担当: pp.211-219, エヌ・ティー・エス, 2017/02

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等(シンポジウム、招待講演)

- 1) 小瀬博之, 中野民雄, 西川豊宏ほか, 第43回 水環境シンポジウム 水環境における省資源・省エネの定量的評価手法を考える, 日本建築学会, 2019年3月11日
- 2) 小瀬博之, 給排水衛生設備を巡る最近の国内外の動向 学会としての役割の考察, 空気調和・衛生工学会 創設100周年シンポジウム「次世代の給排水衛生設備への期待と展望」, 空気調和・衛生工学会, 2017年

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：小瀬 博之

ローマ字氏名： KOSE Hiroyuki

所属研究機関名：東洋大学

部局名：総合情報学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：20302961

研究分担者氏名：笠井 利浩

ローマ字氏名：KASAI Toshihiro

所属研究機関名：福井工業大学

部局名：環境情報学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：60279396

研究分担者氏名：中野 民雄

ローマ字氏名：NAKANO Tamio

所属研究機関名：静岡文化芸術大学

部局名：デザイン学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：00610578

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。