

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289135

研究課題名(和文)水循環システムとしての上下水道の巨大地震津波に対する被害分析とその対策

研究課題名(英文) DAMAGE ANALYSIS AND ITS COUNTERMEASURE OF WATER SUPPLY AND SEWERAGE SYSTEMS AS A WATER CIRCULATING SYSTEM AGAINST GREAT EARTHQUAKE TSUNAMI

研究代表者

宮島 昌克 (MIYAJIMA, MASAKATSU)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：70143881

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：上水道、下水道をひとつの水循環システムと捉え、巨大地震津波時における、主として以下の課題について研究を行い、それぞれで研究成果を得た。すなわち、津波の河川遡上による上水道の取水停止による水質悪化とその対策、巨大津波による下水道終末処理場の構造被害分析とその対策、巨大地震の長周期、長継続時間地震動による池状構造物のスロッシングによる被害分析とその対策、水循環システムとしての上下水道システムの巨大地震津波時のクリティカルポイント解明と被害軽減策の4課題である。

研究成果の概要(英文)：This study is focusing on damage analysis and its countermeasure of water supply and sewerage systems as a water circulating system against great earthquake and tsunami. The following subjects were studied and fruitful results were obtained. 1. Effect of river run-up of tsunami on water supply system, 2. Damage mechanism of treatment facilities of sewerage system induced by great tsunami, 3. Damage to water supply system induced by sloshing of water in a reservoir by long period and/or long duration seismic motion induced by great earthquake, 4. Critical points of water supply and sewerage systems as a water circulation system.

研究分野：ライフライン地震工学

キーワード：水循環システム 巨大地震津波 被害分析 上水道 下水道

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では巨大津波により上下水道施設に多大な被害が生じた。特に、下水道の終末処理場は、そのほとんどが沿岸地域に立地していたため甚大な被害を蒙り、完全復旧までに数年を要するところもあった。上水道と下水道は言うまでもなく連続しており、水循環システムを形成している。その1箇所でも機能を失うと、水の循環が滞ることになる。この大震災では終末処理場の停止という致命的な機能喪失に注目が集まっているが、そのほかの施設にも致命的になりかねない被害が見え隠れしていた。

これまで、上水道と下水道は管轄する国の機関が異なることもあって、それぞれ独立に取り扱われてきたが、水循環の重要性が認識されることにより、地方自治体においても上下水道課といった、ひとつの部署で一体感をもって管理されるようになってきた。しかし、上水道が地震後に復旧したけれど、下水道の復旧が遅れているために上水道の使用が制限されるといった事例が被害地震のたびに繰り返されている。

したがって、上水道、下水道をひとつの水循環システムと捉え、巨大地震および津波来襲時のシステム上のクリティカルポイントを明らかにし、その被害軽減対策を具体的に検討し、提案することが急務の課題である。

2. 研究の目的

本研究では、上水道、下水道をひとつの水循環システムと捉え、巨大地震および津波来襲時のシステム上のクリティカルポイントを明らかにし、その被害軽減対策を具体的に検討し、提案することを目的とする。そのためには、今回の大震災で致命的な被害が生じた下水道の終末処理場の被害状況をつぶさに調査し分析するだけでなく、次の震災で致命的な被害になりかねない事象についても徹底的に調査し、被害資料を集積、分析することが極めて重要である。本研究で主として検討する課題は以下の4点である。

- (1) 津波の河川遡上による上水道の取水停止による水質悪化とその対策
- (2) 巨大津波による下水道終末処理場の構造被害分析とその対策
- (3) 巨大地震の長周期、長継続時間地震動による池状構造物のスロッシングによる被害分析とその対策
- (4) 水循環システムとしての上下水道システムの巨大地震津波時のクリティカルポイント解明と被害軽減策

3. 研究の方法

(1) 東日本大震災における上水道施設の津波被害を明らかにし、津波の河川遡上による水道システムへの影響を抽出するために、東北3県(岩手県、宮城県、福島県)と関東2県(茨城県、千葉県)の186水道事業体に対してアンケート調査を行い、主として津波に

よる機能被害の実態を明らかにするとともに構造被害との関係を検討した。

(2) 巨大津波による下水道終末処理場の構造被害分析とその対策に関しては、ピロティの有無と開口部の有無を組み合わせた3層建物模型を製作し、段波による水理実験から建物内部に浸入した津波の流路、構造材や非構造材に作用する局所的な波圧分布、浮力や揚力による鉛直力の影響などに関して検討した(図1)。さらに、実験の状況を再現した数値解析を行い、実験結果との比較検討を通して開口部と開放部を有する中低層建築物の津波作用時における力学的メカニズムについて考察した。



図1 建築物内に浸水する津波の様子

(3) 巨大地震の長周期、長継続時間地震動による池状構造物のスロッシングによる被害分析とその対策に関しては、VOF法を用いたスロッシング解析により、地震動の周期と継続時間のそれぞれが最大水面変位に及ぼす影響を明らかにするとともに、スロッシングによる配水システムの異常挙動に関する具体的な被害資料を収集し、分析を行った。

(4) 上下水道システムの巨大地震津波時のクリティカルポイント解明と被害軽減策に関しては、下水道の使用制限時における上水道の利用方法に関するアンケート調査と、想定津波浸水域における上下水道ネットワーク形状からクリティカルポイントを検討した。

4. 研究成果

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震による津波被害状況の把握のために被災地域へアンケート調査を行った。断水、取水停止とともに震度が大きいほど発生確率が高く、復旧までの期間が長い傾向にあったが、断水では29日以上、取水停止では7日以上になるとその傾向は見られなくなる。断水を引き起こした原因としては、停電、水道管路の被害が津波の浸水の有無によらずに大きい。さらに津波浸水事業体では、施設、設備被害が断水を引き起こす原因となっていた。取水停止を引き起こす原因としては、断水同様、停電が津波の浸水の有無によらず大きな影響を与えていたが、非浸水事業体では強震動による濁度の上昇、浸水事業体では津波による塩水障害が理由として現れる。断水期間、取水停止期間

は津波浸水事業体のほうが圧倒的に長期である。断水期間に関しては、同様の理由であっても津波が原因である場合のほうが長期化しており、施設または設備被害が津波によって発生している場合、断水期間は地震動が原因のものより5倍長くなる。取水停止期間に関しては濁度の上昇や塩水障害など水源に生じる被害は他の理由よりも2倍程度長期化していた。

取水停止は断水の大きな原因の一つであり、塩水障害というこれまでに注目していなかった津波被害特有の原因について今後対策を講じていく必要があることが示された。また、津波による影響により、断水期間が5倍長くなるという結果は、今後の津波対策の重要性を示しているといえる。

(2)水理実験から、開口なしの模型に比べて開口ありの模型では約20%、ピロティ型の模型では約35%の水平波力が低減されることが明らかとなった。鉛直波力については、建築物が開口部を有する場合、内部に流入する水の重量が大きく影響することが示唆された。つぎに、建築物荷重指針で提案されている波力推定式を用いて実験波力の推定を試みた結果、水平波力については、模型前面の面積だけでなく内部のコアを考慮した投影面積を受圧面として採用することが必要であり、また、鉛直波力については模型前面の水位と同様の水位まで模型が全体的に没水しているものとする安全側の推定ができることが示された。

VOF法を用いた3次元数値解析により、建物の各部位に作用するローカルな波圧も建物全体に作用するグローバルな波圧も精度良く再現できることが明らかとなった。本結果から、数値解析を利用することにより実験では限定された位置でしか測定できない波圧や流速の空間分布を把握することが期待できる(図2)。

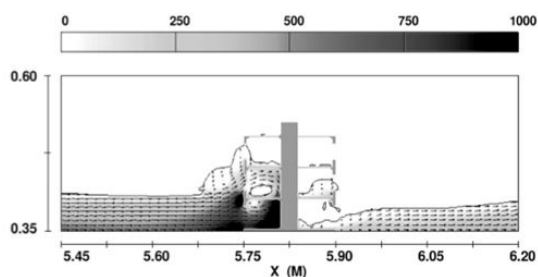


図2 建築物前面に作用する波圧の分布(計算値)。カラーバーの単位はPa(パスカル)

(3)VOF法を用いたスロッシング解析により、地震動の周期と継続時間のそれぞれが最大水面変位に及ぼす影響を明らかにすることができた。さらに、配水システムの異常挙動によって引き起こされる具体的な被害事例として、空気弁類の被害に関する資料を2016年熊本地震に関して収集し、分析した。九州

地方全域を対象に空気弁類の被害に関するアンケート調査を行った結果、空気弁被害には地震直後に発生する急激な水圧変動が大いに影響していることが示唆された。これは、被害の発生している場所が震央近くの揺れが強い地域に限らず、比較的離れた地点においても被害が発生していること、また、空気弁が破損した部位として遊動弁体やフロント弁体といった空気弁内部の破損の割合が多いことから考えられた。空気弁の周辺状況としては、下流の配管形態や設置場所より、破損した空気弁は地震直後の管内の水圧変動の影響を受けやすい環境に設置されていた可能性も高いことが推察された。

つぎに、熊本市において最大加速度の分布と管路付属設備被害分布との関係を検討した。その結果、被害が多いと予想された配水管網が密集している地域及び最大速度が大きい地域の他に、管路の敷設密度が低く、また最大速度が比較的小さかった地域においても被害が発生していた。これにより、地震動以外の要因が空気弁に影響を与えている可能性が示唆された。そこで、地震動の大きさと被害要因についての分析を行った結果、地震動の強い地域での被害においても、水圧変動による被害が50%を占めていることが明らかとなった。

(4)住民の視点を考慮したソフト・ハード両面からの上下水道減災対策の最適化手法について、輪島市輪島地区を対象として検討を行った。まず、対象地区の現状を調査し、津波を想定した対策の重要性を指摘した。次に、地区住民へのアンケート調査を行った結果、断水を許容できる期間は3日であるのに対し、簡易トイレを許容できる期間は5.4日と比較的長かった。水道施設と下水道施設のハード対策への支払意志額は同程度であったが、簡易トイレの支払意志額はハード対策の21か月分であった。今後はこれらの結果をもとに、効果的なハード対策とソフト対策の組み合わせについて検討を行う。一方、輪島市における地震危険度については、地震そのものの揺れに伴う被害に加え、津波による被害の可能性もあり、地震規模により異なる浸水エリアの設定も踏まえ、被害想定を高め、検討の深度化を目指していくことが重要と考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計30件)

濱本卓司, 嶋原良典, 矢代晴実, 井上修作: 開口部と開放部を有する中低層建築物の津波水槽実験, 日本建築学会構造系論文集, Vol.82, No.733, pp. 359-369, DOI: <http://doi.org/10.3130/aijs.82.359>, 2017.3.

Nojima, N. and Maruyama, Y.: Comparison of Functional Damage and Restoration Processes of Utility Lifelines in the

2016 Kumamoto Earthquake, Japan with Two Great Earthquake Disasters in 1995 and 2011, JSCE Journal of Disaster FactSheets, Vol. FS2016, p. L-0005, 2016.

③佐藤祐子, 米山望, 奥村与志弘, 清野純史: 杭基礎建物の津波転倒メカニズム検討のための三次元津波氾濫解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp. I_961-I_966, DOI: http://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_961, 2016.7.

鎌田泰子, 佐藤圭介, 加藤蒼二: 東日本大震災における二地震の被害分析に基づく配水管路脆弱性評価, 日本地震工学会論文集, Vol. 16, No. 8, pp. 8_145-8_155, DOI: http://doi.org/10.5610/jae.16.8_145, 2016.7.

Dohi, Y., Okumura, Y., Koyama, M. and Kiyono, Y.: Evacuee Generation Model of the 2011 Tohoku Tsunami in Ishinomaki, Journal of Earthquake and Tsunami, Vol.10, Issue 03, 1640010-1-1640010-17, DOI: 10.1142/S1793431116400108, 2016.

Achour, N., Pascale, F., Price, A.D.F., Polverino, F. Aciksari, K., Miyajima, M., Ozucelik, D.N., and Yoshida, M.: Learning Lessons from the 2011 Van Earthquake to Enhance Healthcare Surge Capacity in Turkey, Journal of Environmental Hazards, DOI:10.1080/17477891.2016.1139539, 2016.2.

鎌田泰子: 東日本大震災報告書の用語検索によるライフライン相互連関分析, 土木学会論文集, Vol. 72, No. 4, pp. I_926-I_933, DOI: http://doi.org/10.2208/jscejsee.72.I_926, 2016.

宮本勝利, 佐藤清, 小西康彦, 飛田哲男, 鎌田泰子, 砂坂善雄, 松橋学, 高橋達, 日置潤一: 液状化に起因する上水道管路の被害特性などに関する調査, 土木学会論文集 A1, Vol.71, No. 4, pp. I_983-I_994, DOI: http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_983, 2015.9.

宮島昌克, 岩本夏未: 南海トラフ地震による上水道施設の津波予測に関する一考察, 土木学会論文集 A1, Vol. 71, No. 4, pp. I_577 - I_586, DOI: http://doi.org/10.2208/jscejsee.71.I_577, 2015.9.

Erami, M. H., Miyajima, M., Kaneko, S., Toshima, T. and Kishi, S.: Pipe-soil Interaction for Segmented Buried Pipelines Subjected to Dip Faults, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 44, pp.403-417, ISSN: 0098-8847, DOI:10.1002/eqe.2476, 2015.4.

[学会発表](計40件)

Miyajima, M. and Iwamoto, N.: Effects of Tsunami on Water Supply Network in Case of the 2011 Tohoku Earthquake in Japan, Proceedings of 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017.1.9-13, Santiago(Chile)

Hara, M., Shoji, G. and Terajima, R.: Seismic Waveforms at Engineering Bedrocks beneath Lifelines Suffered by Liquefaction in the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017.1.9-13, Santiago(Chile)

乾太一朗, 玉瀬充康, 宮島昌克: 2016年熊本地震における上水道の空気弁被害に関するアンケート調査, 第7回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集, CD-ROM, 2016.12.5, 熊本大学(熊本県熊本市)

Nakamura, M. and Miyajima, M.: Damage to Water Supply System by Geo-disasters in the 2016 Kumamoto Earthquake in Japan, the 14th International Symposium on Geo-disaster Reduction, 2016.10.10-13, Chengdu(China)

矢代晴実, 濱本卓司, 鷗原良典, 井上修作: ピロティ・開口の有無を考慮した三層建築物の津波水槽実験 その1 波圧分布, 日本建築学会2016年度大会, 2016.8.24-26, 福岡大学(福岡県福岡市)

Oda, K., Ishihara, T., Miyajima, M.: Pipeline Design Method against Large Displacement of Strike-slip Fault, 2016 Pressure Vessels & Piping Conference, 2016.7.17-21, Vancouver(Canada)

Ishida, A., Miyajima, M. and Tamase, M.: Study on Abrupt Decrease of Water Pressure in Drinking Water System just after Earthquake, 7th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, 2016.6.1-4, Shanghai(China)

Miyajima, M., Oda, K. and Kishi, S.: Performance of Earthquake Resistant Water Pipe across Surface Faulting, 7th China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, 2016.6.1-4, Shanghai(China)

Shigihara, Y.: Model Accuracy of the Transoceanic Propagation of Tsunami, 26th IUGG General Assembly, 2015.6.22.-7.2, Prague(Czech)

Yane, T., Okumura, Y. and Kiyono, J.: The Research on Tsunami-devastated Mechanism of RC Structures with Pile Foundation in Onagawa during the 2011 Tohoku Tsunami, EIT-JSCE Joint International Symposium on

International Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries , Young Engineer & Graduate student Session 2015.9.3, Bangkok(Thai).

Okumura, Y., Yane,T, Kiyono, Y. and Riggs H.R.: Tsunami Response Analysis of Pile-supported RC Buildings in Onagawa Town due to the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Coastal Structures and Solution to Coastal Disasters (COPRI), 2015.9.10, Boston(USA).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮島 昌克 (MIYAJIMA, Masakatsu)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号：70143881

(2) 研究分担者

清野 純史 (KIYONO, Junji)
京都大学・地球環境学系・教授
研究者番号：00161597

池本 良子 (IKEMOTO, Ryoko)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号：40159223

清水 芳久 (SHIMIZU, Yoshihisa)
京都大学・工学研究科・教授
研究者番号：20226260

能島 暢呂 (NOJIMA Nobuoto)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号：20222200

吉田 雅穂 (YOSHIDA Masaho)
福井工業高等専門学校・環境都市工学科・教授
研究者番号：90210723

庄司 学 (SHOUJI Gaku)
筑波大学・システム情報工学研究科・准教授
研究者番号：60282836

嶋原 良典 (SHIGIHARA Yoshinori)
防衛大学校・システム工学群・助教
研究者番号：90532804