

住民意識を考慮したソフト・ハード両面からの 上下水道減災対策の最適化手法の提案

池本 良子¹・山中 明彦²・宮島 昌克³・安田 誠宏⁴・森崎 啓⁵・高野 典礼⁶

¹正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: rikemoto@se.kanazawa-u.ac.jp

²正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) (〒530-0004 大阪市北区堂島浜1丁目2-1)
E-mail: akihiko.yamanaka@os.pacific.co.jp

³正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-35)
E-mail: yasuda-t@kansai-u.ac.jp

⁵正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町2丁目22番地)
E-mail: hirosaki.morisaki@os.pacific.co.jp

⁶正会員 石川工業高等専門学校准教授 環境都市工学科 (〒929-0392 石川県津幡町北中条)
E-mail: takano@ishikawa-nct.ac.jp

過疎化高齢化が進む中小都市である石川県輪島市輪島地区を対象に、住民アンケートを実施し、住民意識を取り入れた上下水道の災害に対するハード対策とソフト対策の最適化手法について検討を行った。その結果、水道の耐震化率に対する認知度は極めて低く、水の備蓄量が少ないこと、水道耐震化に対する支払意思額が低いにもかかわらず、断水を許容できる期間は3日であり、最低限の飲料水の備蓄の必要性を指摘した。下水道被災時の水道使用制限に対する理解度は高く、簡易トイレを許容できる期間は5.6日と比較的長かったこと、下水道のハード対策に対する支払意思額が水道と同程度であったことから、下水道対策の費用の一部を簡易トイレの備蓄にあて、当該地域に配布することにより、水道使用制限が可能であると考えられた。

Key Words : *water supply and sewer system, non-structural measure, acceptable days, willingness topay*

1. はじめに

大規模地震時の上下水道施設の被災は、その後の住民の健康や生活環境、自然環境に多大な影響を及ぼすことが知られている。東日本大震災においては、全国で256.7万戸が断水し、90%が復旧するまでに約3か月を要した¹⁾。また、下水道施設の津波に対する脆弱性が浮き彫りとなった²⁾。

水道の対策と下水道の災害対策は必ずしも連携して行われているわけではなく、被災した場合の復旧についても、水道が優先されることにより、マンホールからの溢水や下水処理場での未処理もしくは簡易処理放流が行われてきた。

上下水道施設の地震対策については、国や協会(下水道協会、水道協会等)が主体となって耐震基準を設定

し³⁾⁴⁾、それを元にして各自自治体が整備計画を策定し⁵⁾⁶⁾等、施設の補強や再構築等の事業を実施してきている。しかし、各自自治体の地震危険度は地域条件(地盤条件や津波危険度等)により異なるため、必要となる対策規模が大きく異なる上、自治体の財政力によっても対策達成度が大きく異なってくる。そのため、特にハード対策については、地域によって地震対策レベルに差があり、更には対策期間が長期に及ぶ可能性もある。この間はソフト対策による地震対策が必要となることも想定される。また、想定範囲を超える規模の地震の発生も考えられ、ハード対策のみでの安全性確保には限界があり、ソフト対策を効果的に盛り込んだ対策を検討することが有効な手段になると考えられる。しかし、ソフト対策を実行するのは地域の住民であり、それをどこまで盛り込んだ対策を実施するかについては、住民の視点が極めて重要で

ある。

本研究では、過去に大きな地震による被災経験を持ち、かつ、津波襲来の危険性が指摘されている、石川県輪島市輪島地区を対象に、住民へのアンケート調査を行い、被災初期から施設の機能回復までの期間において、住民の視点を取り入れたハード対策とソフト対策の最適化手法について検討を行った。

2. 対象地域の概要と上下水道施設の状況

石川県輪島市は、能登半島の北西に位置している。平成 28 年 4 月 1 日現在の人口は 28,426 人であり、輪島市と門前町が合併した平成 18 年 2 月 1 日の 34,750 人から、18%減少している。65 歳以上の高齢者が 12,014 人と 42%を占めており、高齢化と人口減少が著しい地域である。平成 19 年の能登半島地震では、震度 6 強を観測し、大きな被害があった⁷⁾。特に門前地区において、下水道施設の被害が大きかった⁸⁾。

図-1 は、輪島市における上下水道施設の位置を示したものである。石川県輪島市の公共下水道事業は、平成 6 年度より輪島処理区（事業計画区域 387ha）において事業着手し、平成 12 年 6 月に輪島市浄化センターの供用を開始している。平成 25 年度末時点での下水道普及率は 99.8% (=13,937 人 / 13,970 人) と高い値を示している。旧輪島市街地のほぼ全域をカバーする輪島市浄化セ

ンターは、市街地を流れる河川の上流域に位置し、市街地の汚水はポンプにより終末処理場に送られるシステムとなっている。すなわち汚水排除が自然流下方式ではなく動力源（電源等）を必要とする圧力式であることから、自然流下式に比べて災害時においてポンプ場が被災した場合、下水道を使えない地域が多く発生し、復旧にも時間を要する可能性があるが、基幹施設である「輪島市浄化センター」、「堀町ポンプ場」、「河井町中継ポンプ場」はすでに耐震化がされており、レベル 2 地震に対して、施設機能への重大な損傷による機能停止が起これないと考えられる。また、管路施設についても、97.2kmのうち、平成 10 年度以降に建設された 84.7km についても耐震化がなされている。一方、水道普及率は 99.3%であり、市街地にある川原田川を水源とした浄水施設が対象地区に給水している。未耐震化の施設が多く、耐震化率は 14%である。このように、対象地域では、下水道よりも水道の被害リスクが高いとはいえ、想定範囲を超える災害が起こった場合には、下水道が大きな被害を受ける可能性もある。

高齢化、人口減少という課題を抱えている本地域においては、ハード対策とソフト対策を組み合わせ、効果的で経済的な災害対策は、極めて重要と考えられる。

3. 地震対策に対する住民意識調査



図-1 輪島地区の上下水道施設⁹⁾

(1) 調査方法

地震対策の効果の発現には、耐震補強等の対策そのものの性能に加え、対策を享受する住民の対策へのインセンティブが有効に働くことが重要となる。例えば、多額の投資によって施設の補強対策を実施しても、不確定な要因（想定範囲外の地震規模や津波の発生等）によって、その効果が投資額に見合う結果を得ることができない場合は、必ずしも最適な投資とは考えられない。その反面、ソフト対策等の小額な投資でも、享受する住民が、その効果を納得できれば、対策はより有効に機能すると考えられる。そのためには、住民が地震対策に対してどの程度の投資が妥当と考えるかをあらかじめ検討しておくことが、最適な対策を検討する上で有効となる。また、具体の対策を検討する上でも、住民の満足度の評価を確認しておくことは、対策の効果を最大限に発揮させることに対する評価基準として有効なものになると考えられる。

そこで、本研究では、以下のような内容の調査用紙を作成し、石川高専および金沢大学学生に対して、予備調査を実施して改良した後、以下のような内容の調査票を作成した。輪島市は高齢化の進んでおり、年齢層の高い回答者が多いことから、できるだけ平易でわかりやすい表現となるように工夫した。

- 1) 回答者の属性および住まいの状況と利用している上下水道システム
- 2) 水道の耐震化に関する認知度と各家庭における水の備蓄量
輪島市の水道耐震化率は14%と低い状況であるが、その認知度を3段階で質問した。
- 3) 断水の許容日数
断水した場合、何日我慢できるかについて、カード方式で質問した。
- 4) 下水道被災時のトイレの利用に関する意識
下水道被災時に下水があふれる場所によって、トイレを使うかどうか異なるかと推定し、あふれる場所を家の前、離れたところ、下水処理場の3箇所に設定して、トイレを使うかどうかを質問した。
- 5) 簡易トイレで我慢できる日数
下水道被災時に簡易トイレを使うという対策をした場合に、何日許容できるかを質問した。具体的な製品の写真をつけて簡易トイレを理解しやすいように工夫した。
- 6) 下水道被災時の水道利用制限に関する意識
下水道が被災した場合に、水道使用制限に対する合意が得られるかどうかについて全面使用制限、トイレのみの使用制限、使用制限なしの3段階で質問した。また、使用制限に反対の理由についての尋ねた

- 7) 上下水道のハード対策に関する支払意志額
水道および下水道の被害軽減のためのハード対策についての支払い意思額を支払いカード方式で質問した。
- 8) 簡易トイレに関する支払意志額
下水道被災時に簡易トイレを利用する場合に、1回あたりいくらまで支払う意思があるかについて、支払いカード方式で質問した。

調査票は、輪島市輪島地区の舳倉島を除く全4200世帯に対して配布した。調査票の配布と回収は町会を介して行った。

(2) 調査結果と考察

a) 回収率と回答者属性

回収した調査用紙は、515通であり、回収率は12%であった。そのうち、505通を有効回答として集計に用いた。回答者の属性を図-2に示す。回答者は女性の方がやや多いが、輪島市全体の男女比が女性53%であり、ほぼ一致していた。年齢層は、60代以上が60%以上を占めていたが、輪島市全体においても65歳以上人口が42%をしめていることから¹⁰⁾、全体をほぼ反映していると考えられる。女性、高齢者が多かったため、無職、主婦の割合が高かった。

図-3は回答者の住まいの状況と利用している上下水道システムをまとめたものである。およそ90%の回答者が一戸建てに住み、ほとんどが上水道を利用していたが、井戸を併用している人が3%存在した。下水道の利用割合は65%であり、単独浄化槽を利用している割合が23%あった。下水道普及率が高いが接続率（水洗化率）が低いことが反映されている。

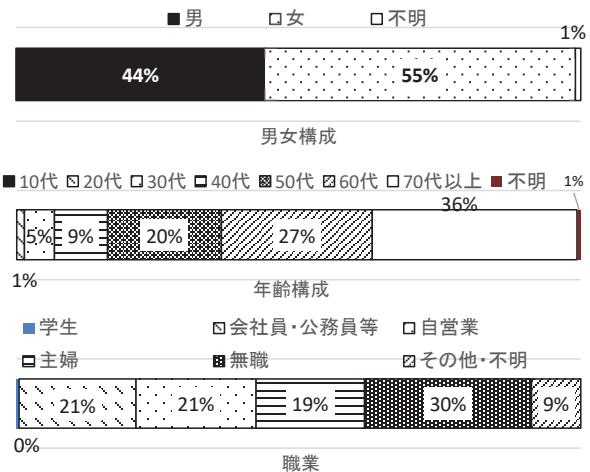


図-2 回答者の属性

b) 水道耐震化率の認知度と水の備蓄量

図4は水道の耐震化率の認知度を示したものである。対象地域の水道耐震化率が14%と低いことをまったく知らなかった人が90%以上にのぼった。

図5は水の備蓄量について示したものである。まったく備蓄していない世帯が全体の約半数も存在した。これは、耐震化率の低さの認知度が低いことが反映されたものであると考えられる。また、ペットボトルを備蓄している家庭は33%程度存在するが、備蓄量は平均で16リットル程度であり、4人家族では一人当たりになると4リットル程度である。1人1日の飲料水等の必要量は、3リットル程度であることが知られていることから、1日分強の備蓄しかないことになる。飲料用以外にふる水や井戸水を備蓄している家庭もあるが、下水道に機能障害が発生した場合には、溢水等の被害が生じる可能性がある。

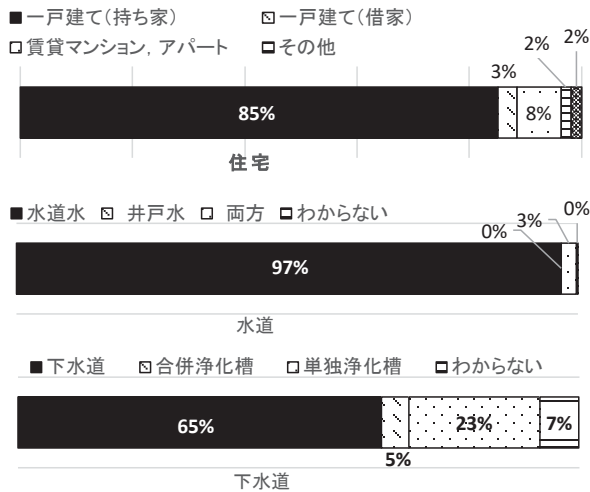


図3 回答者の住まいの状況と利用している上下水道システム

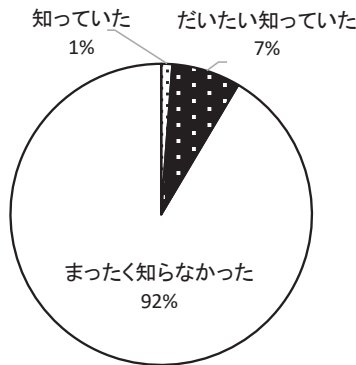


図4 水道耐震化率の認知度

c) 断水および下水道使用不可の許容日数

図6は、断水を許容できる日数および簡易トイレの使用を許容できる日数を全体および男女別で示したものである。断水は、3日まで許容できる人が80%近くを占めており、平均では3日となった。谷口ら¹⁴⁾は、政令指定都市のA氏と地方中核都市のB氏を対象として、アンケート調査を実施した結果、用途別断水需要日数は、飲料水では、まったく需要できないが約半数を占めていることを報告している。一方、山崎ら¹⁵⁾は、釧路沖地震後に住民アンケート調査を行った結果、断水が1日を経過すると困惑度が急増すると報告している。本調査結果は、許容日数が比較的長かったが、先に述べたように、耐震化認知度が低く、水の備蓄も少ないことから、危機感がない結果を反映している可能性もある。

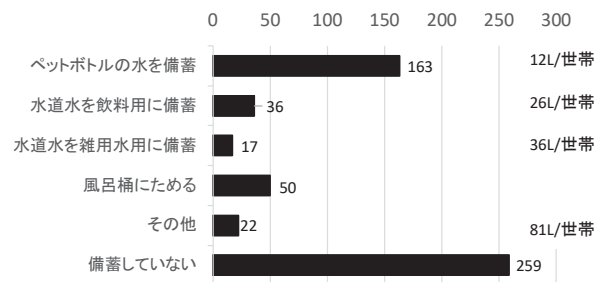


図5 水の備蓄量

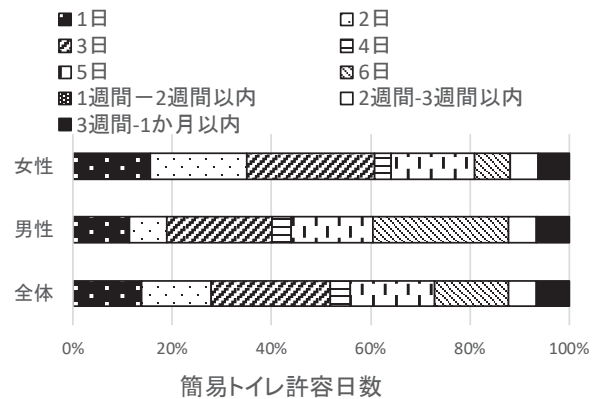
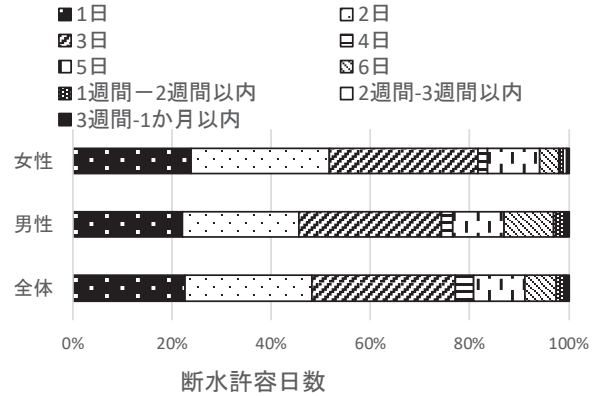


図6 断水および簡易トイレで我慢できる日数

一方、簡易トイレの使用を許容できる期間については、3日以内は約半数であり、平均では5.6日と、水道と比較するとやや許容期間が長いことがわかる。山崎らの釧路沖地震後の調査では、断水継続時間が増えてもトイレの不便さに関する困惑度はあまり変化しておらず、3日以上断水でもとても困ったと答えた人は、30%以下であったことから、本調査結果に近い結果と考えられる。女性の許容日数が男性と比較して短いことも考慮すると、水道復旧後であっても、下水道の使用制限が2日程度は可能であると考えられる。

d) 被災時の水洗トイレの使用と水道使用制限に関する意識

図-7は、下水道や浄化槽が被災した場合に、水洗トイレを使うかどうかについて聞いた結果である。汚水が家の前である場合は、トイレの利用を控える割合は90%以上であるが、あふれる場所が自宅から遠のくにしたがって、使用を控える割合が低くなることわかる。しかし、下水処理場で処理ができない場合にも、90%程度の住民はトイレの利用を控えると回答していた。

次に、下水道被災時の水道利用制限については、図-8に示すように、下水道が復旧するまでは、水道の給水を停止することに同意する割合が12%、トイレの使用のみを制限することに同意する割合が83%と高い割合を示した。また、使用制限に同意できない5%(24人)にその理由を聞いたところ、簡易トイレを使用したことがないので、わからないという答えが多く、その他、健康上の理由などが記載されており、不衛生だから、面倒だからという理由は少なかった。

以上のことから、下水道復旧までは簡易トイレを利用することにより、トイレ使用制限を行うことは可能であると考えられる。

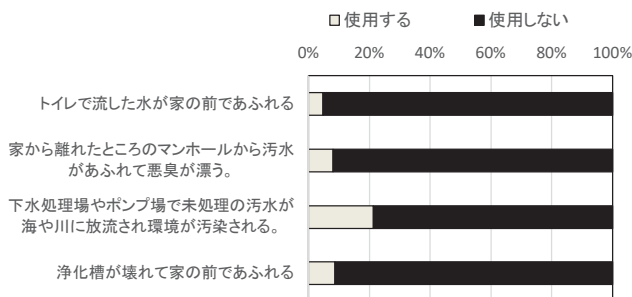
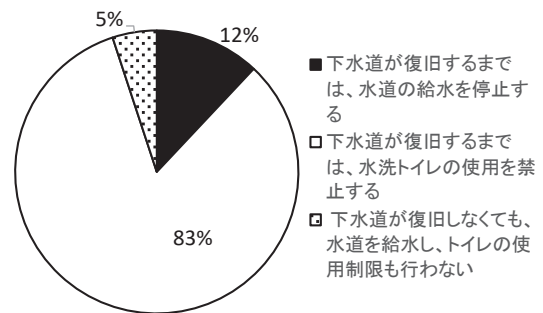


図-7 被災時の下水道や浄化槽の利用意志

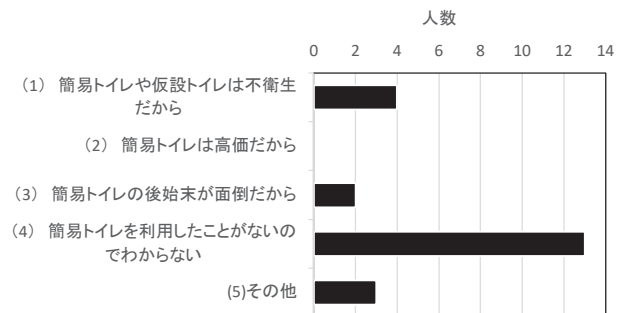
e) 上下水道ハード対策および簡易トイレに対する支払意思額

図-9は、水道および下水道のハード対策に対する1ヵ月あたりの支払意思額を示したものである。両者に大きな違いはなく、平均値は水道で194円、下水道で190円であった。水道だけでなく、下水道に対しても投資の必要性を感じている結果であった。谷口らの調査では、水道の耐震化に対する支払意思額はA市で800円、B市で400円であり、本調査結果は極めて低い額となっている。これは本調査地区は高齢者が多く、谷口らの調査地域と比較して所得が低いことを反映しているためと思われる。

一方、図-10は、下水道が使えない際に自宅で使う簡易トイレに対する1回あたりの支払意思額を示したものである。平均では67円となり、1人1日5回の使用を仮定すると、本地区の1世帯当たりの平均人数は23人であることから、1世帯当たり1日770円となった。



(a) 下水道被災時の水道使用制限に関する意識



(b) 仕様制限反対の理由 (n=24)

図-8 下水道被災時の水道使用制限に関する意識と使用制限反対の理由

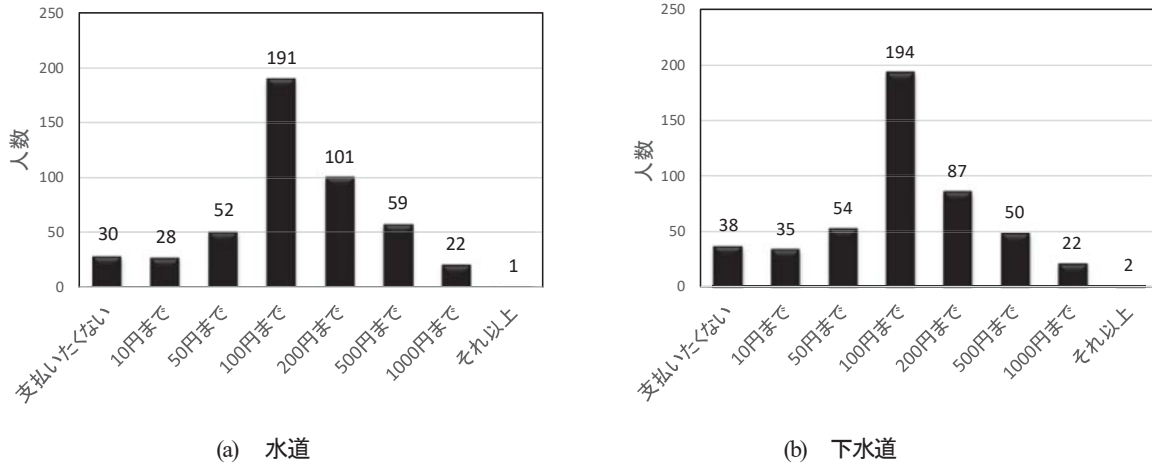


図-9 水道および下水道のハード対策に対する支払意思額

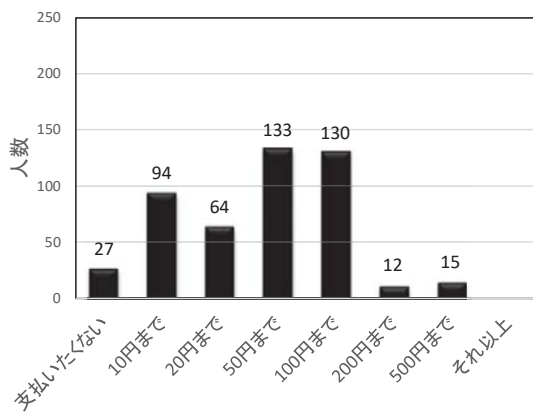


図-10 家庭用簡易トイレに対する支払意思額

4. 住民アンケート結果による耐震対策事業の検討

これらの調査結果に基づいて、当該地域における最適な地震対策の策定に向け、その評価方法について検討した。

検討条件は、輪島市の統計書と住民アンケート結果から以下のように設定した。

- 1) 輪島市輪島地区世帯数 9660世帯¹⁰⁾
- 2) 水道の地震対策支払い意思額 194円/月/世帯
- 3) 下水道の地震対策支払い意思額 190円/月/世帯
- 4) 簡易トイレの地震対策支払い意思額 67円/回 (1日に使用するトイレ回数 5回)
- 5) 我慢日数 水道3.0日 下水道5.6日

検討ケース 1 住民の支払い意思額を投資して水道管路の耐震化を行った場合の耐震化完了年数の検討

- 基幹管路(配水本管)延長 43km うち耐震化管路は 1.9km (4%)
- 年あたりの支払意思額による耐震化整備費用 194円

$$\times 12 \text{ヶ月} \times 9660 \text{世帯} = 2249 \text{万円}$$

- 支払い意思額による年当たり耐震化延長
1900万円÷5万円(布設替え m単価¹³⁾) = 450m

- 配水管の耐震化完了年数
(43km - 1.9km) ÷ 0.45km = 91年

以上より、支払い意思額で水道の耐震化を実施した場合には、91年を要することとなる。

検討ケース 2 住民の支払い意思額で下水道管路施設の耐震化を実施した場合の耐震化完了年数の検討

- 基幹管路(配水本管)延長 97km うち被害想定延長 20km (20%)

- 液状化によるマンホール浮上可能性個数
20km ÷ 30m (1スパン延長想定) = 666箇所

- 年あたりの支払意思額による耐震化整備費用
190円 × 12ヶ月 × 9660世帯 = 2202万円

- 支払い意思額による年当たりマンホール浮上対策箇所
2202万円 ÷ 50万円(浮上対策 1箇所当り単価¹³⁾) = 44箇所

- マンホール浮上対策完了年数
666 ÷ 44箇所 = 15年

以上のことから、住民の支払い意思額で下水道の耐震化を行った場合には15年を要することとなる。

検討ケース 3 簡易トイレの支払い意思額で、簡易トイレを備蓄した場合に配布できる世帯数の検討

- 支払い意思額によるトイレ備蓄費用
67円 × 5回 × 5.6日 × 9660世帯 = 1812万円

- 簡易トイレ市販品(1回 150円, 弁袋方式の平均的価格)の備蓄可能世帯数
1812万円 ÷ 150円 ÷ 4.2日 ÷ 5回 = 5753世帯

以上の試算により、簡易トイレの支払い意思額で、約6割の世帯分の簡易トイレを我慢できる日数分配布することが可能であることがわかる。

以上のことから、ハード対策に対する住民支払い意思額は低く、仮にその予算内でハード対策を実施する場

合には、効果発現には非常に時間がかかることがわかる。それに対し、簡易トイレに対する支払い意思額は比較的高いことから、下水道の使えない許容日数以内で復旧が可能なハード対策を実施するとともに、ハード対策の予算の一部を、簡易トイレの備蓄に転用し、下水道復旧までの間水道使用制限を実施し、当該地区に簡易トイレを配布することにより、効果的な環境対策が可能であると考えられる。

一方、断水許容日数が3日と短く、水の備蓄も少ないのに対し、水道の支払い意思額がハード対策と比較して非常に低いことから、今後は、最低3日分の水の備蓄を呼び掛ける必要がある。

5. おわりに

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検討するために、輪島市輪島地区を対象として、地区住民へのアンケート調査を行った。

その結果、住民の水道耐震化率に対する認知度が低く、備蓄の水量も少ないのに対し、断水の許容日数はわずか2.3日と短く、最低限の飲料水の確保などの広報が必要であると判断された。災害時のトイレの使用制限に関する理解度は高く、簡易トイレを許容できる期間は5.6日と比較的長かったことから、簡易トイレの理解に勤めることにより、3-4日程度の使用制限は可能であると考えられた。

水道下水道ともに、ハード対策に対する支払い意思額が非常に低かったことから、今後はソフトと組み合わせた効果的な対策が重要であると考えられた。

謝辞：本研究を実施するにあたって、輪島市上下水道部の担当者各位には、多くの貴重な情報を御提供頂き、現状抱えている問題等について議論させていただきました。本研究は、土木学会地震工学委員会「水循環施設の合理

的な災害軽減対策研究小委員会（小委員長：金沢大学・宮島昌克教授）」の活動として実施したもので、委員各位には多くの助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書, 厚生労働省健康局水道課, 2013.3
- 2) 東日本大震災における下水道管, 下水処理施設の被害及び復旧状況について, 2011.6, 国土交通省 下水道部
- 3) 水道の耐震化計画等策定指針, 厚生労働省健康局水道課, 2015.6
- 4) 下水道施設の耐震対策指針と解説, 下水道協会, 2014.
- 5) 東京都水道局震災対策事業計画 (平成 25年度~27年度), 東京都水道局, 2013.9
- 6) 下水道施設の地震・津波対策整備計画, 東京都下水道局 2012.12
- 7) 平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等被害報告書, 平成19年(2007年)能登半島地震水道施設被害等調査団(厚生労働省健康局水道課), 2007.8
- 8) 能登半島地震学術調査部会 平成19年度報告書, 金沢大学, 2007
- 9) 国土地理院, 電子国土, <https://maps.gsi.go.jp>
- 10) 輪島市統計書, <http://www.city.wajima.ishikawa.jp/docs/201602290004/>
- 11) 谷口靖博, 宮島昌克, 杉本亮輔: リスク・コミュニケーションの観点を用いたCVM(仮想市場法)による水道管路耐震化への住民の支払意思調査, 地域安全学会論文集, No.13, pp.187-194, 2010.11.
- 12) 山崎文雄, 副島紀代, 目黒公郎, 片山恒雄: 釧路市民に対する地震防災アンケート調査, 土木学会論文集, No. 507/1-30, 265-277, 1995.1
- 13) 水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き, 平成23年12月, 構成労働省健康局水道課

(2017.11.3受付, 2018.2.13修正, 2018.2.17受理)

COMBINATION OF STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL MEASURES OF WATER SUPPLY AND SEWER SYSTEM BASED ON CONSCIOUS AND OWNERSHIP OF LOCAL RESIDENTS

Ryoko YAMAMOTO-IKEMOTO, Akihiko YAMANAKA, Masakatsu MIYAJIMA, Tomohiro YASUDA, Hiroshi MORISAKI and Morihiro TAKANO

In small-scale city, where populations are aging and decreasing, not only structural measure but also non-structural measure of water supply and sewer system against natural disaster are useful. To plan the effective non-structural measure, consciousness of local residents are important. This study proposes a combination method of structural and non-structural measure through a case study in Wajima district of

Wajima City, by a questionnaire investigation to the local residence. Degree of recognition of low earthquake-resistant of water supply facilities was very low and storage of water was few. Although average acceptable days of water supply cutoff were 3 days, willingnesses to pay (WTP) for structural measure of water supply. The public information of water storage is important. Comprehension of limitation of water usage during the damaging period of sewer system was relatively high, and average acceptable days of portable toilet usage were 5.6 days. Willingnesses to pay (WTP) for structural measure of sewer system was 190 yen/month, and WTP for portable toilet was 66 yen/once. Storage of portable toilet by government was estimated to be useful for limitation of water usage.