

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 環境都市工学科 (〒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: hiroshi.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

過疎化高齢化の課題を抱える中小都市における災害対策においては、ハード対策のみでは限界があり、ソフト対策を効果的に盛り込んだ対策を検討する必要があるが、そこには、ソフト対策を実行する住民の意識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、住民に対してアンケート調査を行うことにより、住民意識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。アンケート結果から、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極めて少ないにもかかわらず、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を広報する必要性を指摘した。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 to pay

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、下水道施設の津波に対する脆弱性が浮き彫りとなった。

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、それを元にして各自治体が整備計画を策定し、施設の補強や再構築等の事業を実施している。しかし、各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。特に門前地区において、下水道施設の被害が大きかった。

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。すなわち污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。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。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、想定範囲内の地震による直接被害は考えにくい。一方、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。

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、効果的で経済的な災害対策は、極めて重要と考えられる。

対象地域では水道、下水道ともに被災する可能性がある。水道施設の復旧を優先した場合、下水道施設の復旧と必ずしも連携できるとは限らない。過去の災害においても、水道施設が復旧しているにもかかわらず、下水道施設が被災しているために、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。断水しない地域や、早期に復旧する地域におけるトイレ対策を検討する必要がある。

3. 地震対策に対する住民意識調査

3.1 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



図-1 輪島地区の上下水道施設

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、具体的な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、輪島市輪島地区の舳倉島を除く 4200 世帯に対して調査票を配布し、町会を通した回収を実施した。

- ① 各家庭における水の備蓄量
- ② 下水道被災時のトイレの利用に関する意識
- ③ 簡易トイレで我慢できる日数
- ④ 下水道被災時の水道利用制限に関する意識
- ⑤ 地震津波対策に関する支払意志額
- ⑥ 簡易トイレに関する支払意志額
- ⑦ 断水の我慢できる日数
- ⑧ 水道の耐震化に対する支払意志額

3.2 調査結果と考察

(1) 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%とほぼ一致していた。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%以上人口が 42%をしめていることから、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。下水道普及率は高いが接続率（水洗化率）が低いことが反映されている。

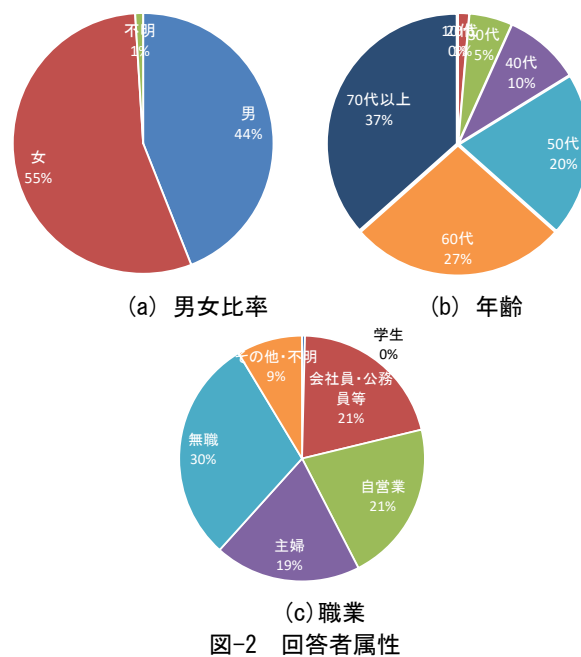


図-2 回答者属性

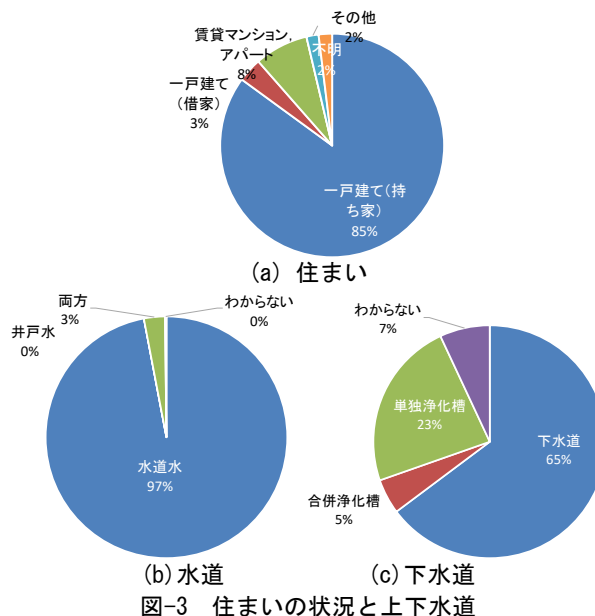


図-3 住まいの状況と上下水道

(2) 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。耐震化率が 14%と低いことをまったく知らなかった人は 90%以上にのぼった。

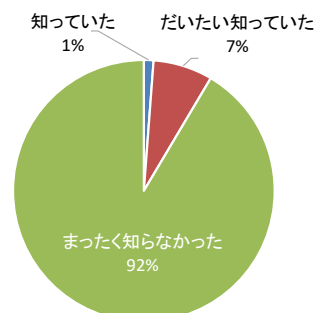


図-4 水道耐震化率の認知度

図-5 は水の備蓄量について示したものである。

A horizontal bar chart with a light blue background and white grid lines. The x-axis is at the top, labeled from 0 to 300 in increments of 50. The y-axis lists seven water storage methods. Each method has a corresponding blue bar with its numerical value and frequency per household (L/世帯) displayed to the right. The bars are ordered from highest to lowest frequency.

貯水方法	世帯数 (L/世帯)
ペットボトルの水を備蓄	163
水道水を飲料用に備蓄	36
水道水を雑用水用に備蓄	17
風呂桶にためる	50
その他	22
備蓄していない	259

(3) 断水および下水道使用不可の許容日数

Figure 1 consists of two stacked bar charts. The top chart is titled '断水許容日数' (Number of days of water supply suspension tolerance) and the bottom chart is also titled '断水許容日数' (Number of days of water supply suspension tolerance). Both charts show the distribution of water supply suspension days for three groups: 女性 (Women), 男性 (Men), and 全体 (Total). The x-axis represents the percentage of the population, ranging from 0% to 100%.

The legend for both charts is as follows:

- 1日 (1 day)
- 3日 (3 days)
- 5日 (5 days)
- 1週間-2週間以内 (1 week to 2 weeks)
- 3週間-1か月以内 (3 weeks to 1 month)
- 2日 (2 days)
- 4日 (4 days)
- 6日 (6 days)
- 2週間-3週間以内 (2 weeks to 3 weeks)
- 1か月以上 (1 month or more)

The data for the top chart is as follows:

Category	1日	2日	3日	4日	5日	6日	1週間-2週間以内	2週間-3週間以内	3週間-1か月以内	1か月以上
女性	25%	25%	25%	2%	5%	2%	2%	0%	0%	0%
男性	22%	23%	28%	2%	10%	5%	2%	0%	0%	0%
全体	23%	24%	27%	2%	10%	5%	2%	0%	0%	0%

The data for the bottom chart is as follows:

Category	1日	2日	3日	4日	5日	6日	1週間-2週間以内	2週間-3週間以内	3週間-1か月以内	1か月以上
女性	18%	18%	22%	3%	12%	5%	2%	2%	2%	0%
男性	15%	7%	20%	3%	18%	15%	5%	2%	2%	0%
全体	16%	12%	24%	3%	18%	12%	5%	2%	2%	0%

(4) 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

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%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。

項目	① 使用する (%)	② 使用しない (%)
(1) トイレで流した水が家の前であふれる	10	90
(2) 家から離れたところのマンホールから汚水があふれて悪臭が漂う。	10	90
(3) 下水処理場やポンプ場で未処理の汚水が海や川に放流され環境が汚染される。	20	80
浄化槽が壊れて家の前であふれる	10	90

図-7 被災時の下水道や浄化槽の利用意志

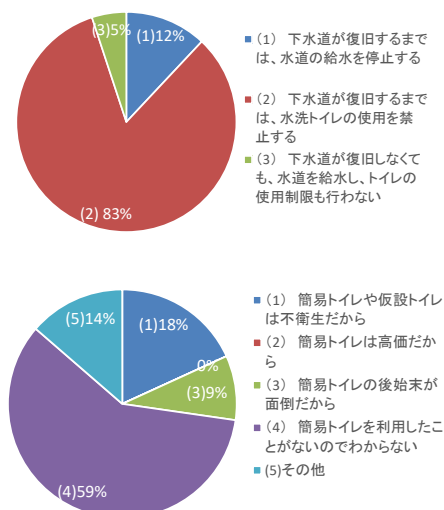


図-8 下水道被災時の水道使用制限に関する意識と使用制限反対の理由

(5) 上下水道ハード対策および簡易トイレに対する
支払意志額

4

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。

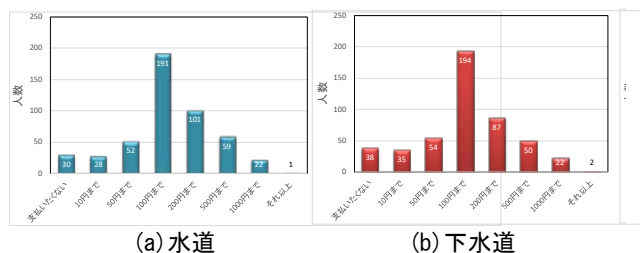


図-9 水道および下水道のハード対策に対する支払意思額

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 2.3 人であることから、1 世帯当たり 1 日 770 円となった。

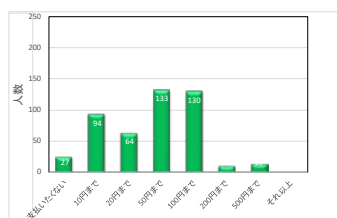


図-10 家庭用簡易トイレに対する支払意思額

3. 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（住民アンケートによる）

- ① 輪島市輪島地区世帯数 9660 世帯
- 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 水道管路の耐震化の検討

- 基幹管路（配水本管）延長：43 km うち耐震化管路：1.9km（4%）
- 年あたりの支払意思額による耐震化整備費用 $194 \text{ 円} \times 12 \text{ ヶ月} \times 9660 \text{ 世帯} = 2249 \text{ 万円}$
- 支払い意思額による年当たり耐震化延長 $1900 \text{ 万円} \div 5 \text{ 万円（布設替え m 単価：仮）} = 450 \text{ m}$
- 配水管の耐震化完了年数 $(43 \text{ km} - 1.9 \text{ km}) \div 0.45 \text{ km} = 91 \text{ 年}$

検討ケース 2 下水道管路施設の耐震化の検討

- 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 $20 \text{ km} \div 30 \text{ m（1 スパン延長想定）} = 666 \text{ 箇所}$
- 年あたりの支払意思額による耐震化整備費用 $190 \text{ 円} \times 12 \text{ ヶ月} \times 9660 \text{ 世帯} = 2202 \text{ 万円}$
- 支払い意思額による年当たりマンホール浮上対策箇所 $2202 \text{ 万円} \div 50 \text{ 万円（浮上対策 1 箇所当り単価：仮）} = 44 \text{ 箇所}$
- マンホール浮上対策完了年数 $666 \div 44 \text{ 箇所} = 15 \text{ 年}$

検討ケース 3 簡易トイレ対策の検討

- 支払い意思額によるトイレ備蓄費用 $67 \text{ 円} \times 5 \text{ 回} \times 5.6 \text{ 日} \times 9660 \text{ 世帯} = 1812 \text{ 万円}$
- 簡易トイレ市販品（1 回 150 円 仮）の備蓄可能世帯数 $1812 \text{ 万円} \div 150 \text{ 円} \div 4.2 \text{ 日} \div 5 \text{ 回} = 5753 \text{ 世帯}$
約 6 割世帯分

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ろう。

4. 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の対する認知度が低く、備蓄の水量も少ない野に対し、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) 輪島市上下水道部：輪島市下水道事業業務継続計画＜地震・津波災害版＞（平成 27 年度版）

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, which 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, conscious 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.