

第Ⅶ部門

衛生環境に配慮した空輸可能な 防災用水洗トイレについて

生方 健太¹・梅本 秀樹²¹五條市 都市整備部 まちづくり推進課 (〒637-8501奈良県五條市岡口1-3-1)²NTN株式会社 未来創造開発本部 自然エネルギー商品ユニット
(〒108-0075東京都港区港南2-16-2太陽生命品川ビル)。

五條市は近年の災害により甚大な被害を受け、「令和5年6月台風2号豪雨災害」では孤立世帯が発生した。この災害を受けて、孤立地区に対する新たな対策として、大型ドローンによる資材運搬体制の構築、空輸による衛生的な仮設トイレの整備を行った。五條市では特に災害時のトイレの確保は重要な課題であると認識しており、2024年（令和6年）1月に発生した能登半島地震の際は仮設トイレの支援を行った。ここでは災害時におけるトイレの課題、支援の方策、今後の衛生的なトイレ環境の充実に向けた活動について報告する。

キーワード 防災用水洗トイレ、災害対応、能登支援、空輸可能

1. はじめに

五條市は、奈良県の南西部、大阪府・和歌山県との接点に位置し、古くから交通の要衝として多くの人々や文化の往来を育んできた。

気候は、北部地域では比較的温暖で小雨であるのに対して、南部地域では標高が高いため、夏季は冷涼で降水量は多く、冬季は寒冷で降雪が見られる。

市の中心部、紀の川（吉野川）沿いの五條新町地区には、重要伝統的建造物群保存地区に指定された古い街並みが残っており、市内には、榮山寺を始め、賀名生皇居跡、大塔宮護良親王遺跡など、歴史的資源が数多く分布している。

また、五條市は柿の生産量日本一を誇っており、日本一柿のまちとしても親しまれている。

し、約1,138万m³に上る崩壊土砂で河道が閉塞し、湛水池が形成された（写真-1）。

この災害を受け、国土交通省近畿地方整備局は、大規模斜面崩壊や河道閉塞箇所の決壊による二次災害のおそれのある個所に対し、緊急的に砂防事業を実施するため、2012年（平成24年）4月、五條市内に紀伊山地砂防事務所（現在の紀伊山系砂防事務所）を設置。これにより、市では対応できないような大規模な対策が講じられ、山間部の復旧は格段に加速することとなった。



写真-1 赤谷地区 被害直後

2. 近年の災害

(1) 平成23年紀伊半島大水害

2011年（平成23年）9月の台風12号（紀伊半島大水害）に伴う記録的豪雨により、五條市大塔町では赤谷地区、宇井地区などで深層崩壊が発生し、人的被害をはじめライフラインの寸断など甚大な被害を受けた。赤谷地区では、幅460m、高さ600m、長さ850mの崩壊が発生

(2) 令和5年6月台風2号豪雨災害

2023年（令和5年）5月29日～6月3日にかけての豪雨および台風2号により、浸水被害や土砂崩れ、倒木、ため池の崩壊など、市内のいたる所で災害が発生した。24時間降雨量は過去最大を記録し、283mm（五條観測

所)となった。家屋や建物の被害は21棟、道路や河川などの土木施設の被害は237件、田畑やため池などの農業施設の被害は190件に上った。

この時、西吉野町北曽木地区では、崩土で通行止めが発生し17世帯56人が孤立した。市では、この事象を受け、孤立地区対策の強化に努めることとした。

なお、本災害は2023年（令和5年）8月30日、激甚災害に指定された。

3. 孤立地区に対する新たな対策

(1) 大型ドローンによる資材運搬体制の構築

2023年（令和5年）8月31日、五條市は、孤立地区等に向けた救援物資の搬送を可能にするため、市内の電気設備業者と協定を交わし、国内最大級の大型ドローンを用いた運搬体制を構築した。このドローンは直径約3.1mで、1回につき重さ約50kgの空輸能力を有する（写真-2）。これにより、孤立地区等に対する迅速で確実な救援物資の補給手段が確保されることとなった。



写真-2 電気設備業者との協定に基づく大型ドローン

(2) 空輸による衛生的な仮設トイレの整備

災害時のトイレの確保は、重要な課題であり適切な対応が求められる。一方で、上下水道が被災した避難所におけるトイレ施設の衛生環境の維持は、排泄物の処理や定期的な清掃など、現実的に多くの問題を抱える。感染症への懸念や害虫の発生によりトイレの使用がためられ、水分の補給や食事を控えることなどから、健康被害を引き起こすこともある。

そこで市では、上下水道に接続せず、循環浄化で継続的に使用可能な仮設の水洗トイレを配備することとした。平時は散策路等に設置し、非常時には被災地へ運搬するものである。なお、孤立地区対策として、ヘリコプター

で空輸可能な仕様とした。

4. 循環式トイレの概要

(1) 開発の経緯

電力確保が困難な僻地や山間部などにおいて、独立型の電源設備は、様々な施設や機器のエネルギーベースとして、その利用価値は高い。2019年 NTN は、貨物輸送用コンテナに風力や太陽光など再生可能エネルギーによる発電装置と蓄電池を格納し、短時間で発電、電力供給を行うことができる移動型独立電源を開発した。この設備は、発電に必要な燃料補給が不要であるため、大規模停電が発生した際の非常対応にも効果を発揮する。機動性も高く、発災時には、トラックやヘリコプターなどで、いち早く被災地へ運送することで、電力供給の緊急拠点を設けることができる。

2021年、コロナ禍における登山など屋外行動の需要が増えた際、トイレの維持管理が課題となった。そこで、施設管理者の負担軽減を目的に、移動型独立電源をベースにした循環式トイレの開発を行った。実証試験を通じて、電源や水道が不要で、排水が出ないイーザーメンテナンスの屋外水洗トイレを実現した。一方、移動型独立電源と循環式トイレを合体したことで必然的に質量が増加した。

このトイレは、製品特性に鑑みると、災害時において高い効果を発揮するものと考えられた。一方で、実用化に向けては、運搬の容易性が必須。特に、道路網が寸断された状況では、空輸の可否が広範な利用の成否を分ける。そこで、NTN は孤立地区対策を進める五條市と連携し、空輸タイプの製品開発に着手。ヘリコプター輸送会社と綿密な技術調整を行い、吊り上げ方法や質量、サイズなど必要な仕様を固め、2023年、軽量化を始めとした空輸可能な循環式トイレの開発に成功した。

(2) 機能・特性

このトイレは、再生可能エネルギーで発電した電力を用いて、トイレで発生する汚水を微生物により浄化し、オゾン滅菌することで再度洗浄水として再利用するものである。つまり、電源や上下水道への接続が不要で、環境にやさしい仕組みを有す。処理フローについては、図-1のとおりである。汚水浄化は、利用者の快適性を勘案し、清浄性（きれいな水、においがしない）に長けた循環浄化方式を採用した。汚水浄化は多孔質鉱物を利用した微生物分解を採用しており、環境負荷を考慮し廃棄物となる物理的なフィルターを用いていない。また、浄化に際し、汚水を循環させる機能を持つディスポーザー機能を有するポンプを通過させ汚物を粉碎し速やかな浄化を促す。

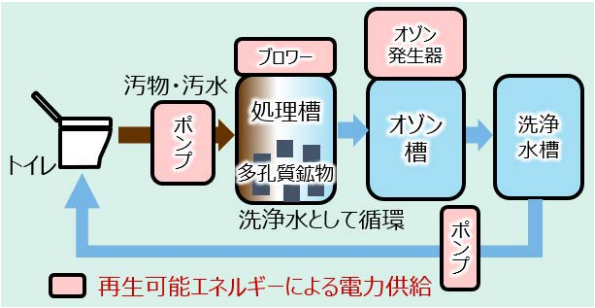


図-1 循環式トイレ処理フロー図

本トイレの汚水処理能力は、ほぼ処理水の量（≒微生物量）により比例するため、輸送に適した処理能力の選定が重要となる。このため、気温（空気密度）により変化するヘリコプターの搬送能力の下限値を考慮した上で、構造上必要な強度を担保し、処理槽、ろ材、発電装置および蓄電装置の最小化を反映し、処理能力を1日あたり15回で設計、約1,600kg（処理水を入れない状態）の質量を実現した。

なお、空輸には支障があるが、陸送対応の大容量タイプであれば、1日あたり200回の処理能力となる。タイプ別の性能比較表については、表-1に示す。

メンテナンスは、日常の定期的な循環水の水質確認と汚泥量等の確認、水質確認結果に基づく汚水の引き抜き、5年/回の蓄電池の交換などの作業が必要となる。

表-1 標準タイプと大容量タイプの性能比較表

タイプ	五條市仕様	10ft (標準)	20ft (大容量)
L×W×H(m)	2.2×2.0×2.7	3.7×2.2×2.7	6.4×2.5×2.7
風車	—	500W	500W
太陽光	1.5kW	2.2kW	3.7kW
蓄電池	3.25kWh	8.8kWh	17.6kWh
計画処理能力	15回/日	30回/日	200回/日
レイアウト			

5. 令和6年能登半島地震への仮設トイレの支援

(1) 五條市の支援

2024年（令和6年）1月1日16時10分、石川県能登地方の深さ16kmにおいて、マグニチュード7.6（最大震度7）の地震が発生し、北陸地方は甚大な被害を受けた。そこで、市は5日、庁内会議を行い、甚大な被害を受け

た能登半島への支援体制を構築した。まずは、奈良県トラック協会五條支部に輸送を依頼し、飲料水などの物資支援を決定した。

(2) トイレの支援

五條市は発災前の2023年（令和5年）12月25日、NTNと循環式トイレの購入、設置に関する契約を交わした。納期は3月20日。地震が発生した際、納品前ではあったが、市とNTNは、緊急協議を行い、当該トイレの有効性を鑑みて、被災地への支援運用を決定した。NTNは至急、実運用に耐えられる製品のチューニングを行った。五條市内への本設前の運用ではあったが、災害時における実効性の検証、モニタリング調査等の位置付けで、その成果を製品に反映することで、五條市への還元を考えた。配備先は、市職員が能登町と調整を行い、各地域への裨益効果が高く、状況確認や維持管理等を確実に実施することができる災害ボランティアセンターとした。これにより、1基のトイレではあるが、実質的には幅広いエリアへの効果を発揮することとなり、また、試行的な運用としての情報収集や適切な製品管理も可能となった。

(3) トイレの運送・設置

今回の設置場所は陸送が可能であったため、トラックによる搬送となった。試行的な運用を実施するにあたり、事前に製品の確認を行う必要があった。そこで、2024年（令和6年）1月16日、五條市役所において、形状や設備などの検査を行うこととした。翌日の17日、災害ボランティアセンターへ設備を搬送した。設置は、循環水の投入、初期の動作確認を含め概ね1時間で完了し、使用可能な状態になった（写真-3）。

災害ボランティアセンターは、2024年（令和6年）1月26日から開設された。



写真-3 循環式トイレの設置

(4) トイレの運用

トイレは女性専用とし、利用時間は災害ボランティアセンターの運営時間に準じて9時から17時までとなった。2024年（令和6年）2月8日から石川県が派遣するボランティアの活動が始まった。実運用上の管理は、災害ボランティアセンターに運用を委託し、遠隔地でも機能の把握ができる装置を設置した上で、月1度のペースでNTNが現地訪問し点検を行うという運用を行った。遠隔監視は、トイレ利用時のみ動作するポンプに連動することで利用回数の把握、発電量、温度、バッテリーの状況をモニター項目として行い、想定外の利用がないか随時確認をした。

表-2 遠隔監視装置による利用人数把握

	1月	2月	3月	4月	5月
使用回数/月	-	120	162	188	168

計画処理能力に対し、表-2 に示すとおり、利用者は多いが、一時的な利用回数の増加が余力の範囲内であれば処理が進んでおり、利用に対して問題はなかった。

今回、本トイレを設置した能登地方は、1月～2月にかけて、気温が低く降雪もあり、屋根面の太陽光パネルに降雪が降り積もり発電の阻害や循環水の凍結のリスクが生じた。対策として、本トイレは、屋根面だけでなく、側面にも太陽光パネルを搭載し、屋根に雪がある場合でも、独立した制御系で側面の太陽光パネルにより発電が可能とした。また、凍結防止として循環水を少しずつ流す流動式のトイレを採用し、常に処理水を少量循環させることで凍結を防止した。なお、今回の運用では、系統電源は早期に復旧し使用できる状況であったことや被災地救援という確実な対応を考慮し、万が一の電源失陥を防ぐため、系統電源への接続を行った。

NTNの現地点検では、各種目視点検に加えて、必要に応じ、循環水のpH測定、臭気、外観のチェックを行うことで良好な水質を確認し、適切な運用管理を実施すれば、トイレとしての清浄性を維持することが確認できた（写真-4）。



写真-4 能登町の点検結果（外観、循環水の確認）

今後の課題としては、ヘリコプターでの輸送性を確保した上で、処理能力の増大（利用回数の増加）を目指すことが挙げられる。このため、発電や蓄電効率を向上することによる電気機器の軽量化、躯体の構造部材見直しによる軽量化、ろ材形状の見直しによる処理能力向上など多面的な対応が必要である。汚水処理ユニットを、トイレ室と分離することで、分割輸送し目的地で大きなユニットとしてくみ上げることも有用であると考えられる。このため、NTNでは分割ユニットを新たに開発することも視野に入れて事業を検討している。

6. トイレ環境の充実に向けた期待

能登半島地震では、広域かつ長期にわたり上下水道が寸断され、トイレ環境の衛生問題が大きく着目された。

循環式トイレは、上下水道に接続しなくても、水洗トイレの衛生が確保される次世代型のトイレである。処理能力の増大が当面の課題ではあるが、今後の技術開発によりさらに機能が向上すれば、災害時のトイレの衛生問題が大きく解消される。

一方、災害時に利用する施設は、平常時の利活用とセットで効率よく運営することが望ましい。今回、市は、紀の川の堤防を散策する方々への利用を想定し、本トイレを整備することとした。この時、市外への支援は想定していなかったが、今回の事象で、その効果は確認された。

このトイレの有効性や今後の可能性を鑑みると、今回は市が単独で実施したが、このような利用形態が全国的に展開され、かつ一元的にマネジメントできれば、非常時における備えは劇的に改善されるものとする。つまり、国や都道府県、市町村が、各々の屋外管理施設において、被災地における汎用を想定した循環式トイレを配置し、非常時には、適切に割り振りを行った上で、任地へ搬送するというものである（図-2）。なお、ヘリコプターによる空輸も可能であるため、本市が位置する紀伊



図-2 全国から集結するイメージ図

半島を始め、全国各地の半島対策にも有効である。可能であれば一つの施策もしくはシステムとして全国規模で整備されることに期待する。

7. さいごに

五條市には、公立の小学校が4校存在する。能登半島地震は被害の甚大さから、多くの子供たちから心配の声が上がっていた。本市としては、物理的な支援はもとより応援の気持ちやボランティアで来られる方々への感謝の思いも同時に伝えたいと考えた。そこで教育委員会と

連携し、トイレの配備に合わせ、市内4校すべての児童から応援メッセージを募り、防水対策を施した上でトイレの壁面に貼り付けることとした。メッセージには、「一日も早い復興をお祈りします」「遠いところでも応援します」「一緒にがんばろう」など様々な思いが寄せられた。

最後になりますが、地震の被害を受けた方々に心からお見舞い申し上げますと共に、早期の復旧を祈念いたします。