

災害時の安全な給水システムの確保に関する分野横断型研究

[研究代表者] 手嶋紀雄 (工学部応用化学科)
 [共同研究者] 村上博哉 (工学部応用化学科)
 道木加絵 (工学部電気学科)
 北川一敬 (工学部機械学科)
 鈴木森晶 (工学部土木工学科)

研究成果の概要

東日本大震災は2011年3月11日に発生し、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部を中心に甚大な被害をもたらした。巨大な津波を伴ったことにより福島第一原子力発電所の事故が起こったほか、各種インフラが寸断された。水の供給に焦点を絞ると、発生から2日後の時点でおよそ140万世帯が断水した。我々はこのような災害時における安全な給水システムの確保を共通の目的として、(1)「携行型浄水カートリッジの作製と水質評価」、(2)「耐震性貯水タンクの作製と評価」、(3)「自律ロボットによる貯水タンクとその周囲環境の計測」の各分担研究において成果を収めている。(1)では重金属の吸着媒体及びパームトップ型の吸光光度計の開発、(2)ではタンクの破壊形態の解析及び衝撃波を地震波と見立てるシミュレーションを行い、(3)では自律ロボットに搭載したカメラでの撮影及びロボットの遠隔操縦機能を実現した。

研究分野：分析化学，生命科学，土木工学，機械工学，電気工学

キーワード：震災，減災，救命，給水，安全

1. 研究開始当初の背景

阪神・淡路大震災や東日本大震災ではライフラインが完全に崩壊し、ガス・水道の応急復興完了までには3か月も有した。また近年、南海トラフ巨大地震発生の確率が高まっている。このような教訓や将来の懸念から、地区毎の防災倉庫の設置の他、雨水蓄積槽や水道水貯留タンクの設置と耐震化は継続的かつ緊急の社会的課題である。また震災時には、河川や井戸水中のふっ化物、ヒ素、マンガンなどの濃度上昇が報告されており、水質の悪化が懸念される。無電源で使用可能な簡易浄水器も市販されているが、水溶性の高い無機化合物に対する除去効率は高くない。

2. 研究の目的

そこで、貯水タンク等の水供給施設に対し、土木・機械工学の見識により頑健性を確保する。また貯水タンクの破損や設置状況等を安全に把握するため、自律ロボッ

トを活用する。一方、タンク内の水あるいは遊休井戸、河川水や地下水等が地震により有害化学物質で汚染された場合、本提案により開発する携行型浄水カートリッジによって汚染物を吸着除去し、安全性を検査した上で、飲食に利用することを目指す。すなわち本研究により震災直後の数日間における生存のための水、さらには復旧が進む段階での生活水の確保が可能となる。このような救命に資する安全な給水システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

本研究には、(1)「携行型浄水カートリッジの作製と水質評価（応化：手嶋，村上）」、(2)「耐震性貯水タンクの作製と評価（土木：鈴木；機械：北川）」、(3)「自律ロボットによる貯水タンクとその周囲環境の計測（電気：道木；応化：手嶋）」の各分担研究テーマが存在する。各分担研究の方法については「4. 研究成果」で述べる。

4. 研究成果

(1)-① 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価 (村上・手嶋)

災害時において飲料水の確保は必要不可欠なものである。そのためには、水中に含有されている可能性の高い有害物質の除去が必要である。これまでに、低極性化合物から高極性化合物まで除去することが可能な逆相系吸着剤の開発を達成し、報告している。さらにこれまでとは異なるアプローチの逆相系吸着剤についても検討を進めている。また2018年度から進めている吸着剤粒子が含まれているフィルター型の成形品の合成・性能評価をさらに推進した。すなわち、種々の合成条件の最適化を進め、フィルターとしての強度や通液性の確保などの一定の成果を得ている。この成形品の合成においては、吸着させたい有害物質に応じて、含有させたい吸着剤粒子を選択することができる。例えば、金属イオンを捕捉する機能を有するキレート生成の反応性をもつ吸着剤粒子を含有させることにより、金属イオンを捕捉させることができる (Fig. 1)。成形品はカートリッジに積層させることができるので、異なる吸着剤粒子を含有させた複数の成形品によって、中性化合物と金属イオンを同時に除去させることも可能である。

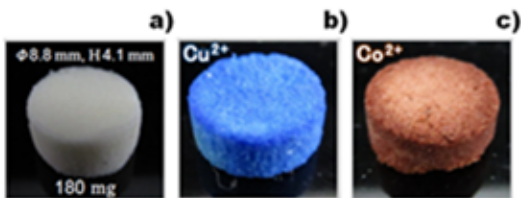


Fig. 1 Adsorption of metal ion onto adsorption medium including chelating resin. a), before adsorption; b), adsorption of copper(II); c) adsorption of cobalt(II).

(1)-② 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価 (手嶋・村上・道木)

上述のフィルターを利用して水を浄化した後に、得られた水が飲料水として適用可能かどうかを検証することは極めて重要である。このために、簡便かつ安全性の確認ができるために十分な感度を有する定量測定系の開発を行っている。2019年度は、異なる研究テーマにおいて共同研究を行っている福井県立大学の片野肇教授の協力を得て、パームトップ型の吸光光度計を作製し (Fig. 2)、水質評価ができないかの検討を行った。定量

分析において汎用的に利用されるデスクトップタイプの吸光光度計と本パームトップ型の吸光光度計によって1,10-フェナントロリン (phen) を用いる鉄(III)イオンの吸光光度分析を行った。その結果、汎用の吸光光度計によって得られた鉄(III)-phen 錯体の吸収スペクトルと、本研究のパームトップ吸光光度計の吸光度はよく一致した。よって、本吸光光度計が実用的に利用可能であることが明らかとなった。



Fig. 2 A homemade palm-top spectrophotometer.

(2)-① 耐震性貯水タンクの作製と評価 (北川・鈴木)

タンクの破壊形態は、以下の2種類に大別される。1) タンク全体の大きな変形、および 2) タンク基部の接合部における応力集中によるものである。1)はタンク内部の補強方法の違いによる部分が大きく、2)はタンク接合部のディテールの形状によると推測される。それらの主要な要因解明のために、鋼材などを用いて補強し、ひずみの値を計測した。また、タンク内水圧分布についても計測し、水圧分布と破壊形態の比較を行い評価した。

なお、このタンク内水圧はタンク下部に高減衰ゴムシートを挿入することにより、応答水圧を最大で1/2程度まで減ずることが可能となった。ただし、ゴムシートを挿入することにより、固有周期の移動も発生し、内容液の固有周期とタンクの固有周期が一致する危険性も示唆され、その結果、タンクパネル接続部のせん断破壊などが懸念されるようになり、次年度の課題となった。

(2)-② 耐震性貯水タンクの作製と評価 (北川・鈴木)

水中爆発で発生する衝撃波を地震波と見立て、爆発環境下での各種表面形状の構造体に掛かる衝撃力昇圧の様相を調べた (Fig. 3)。凹凸・半円構造体を設置した場合、小さいセル径の空隙媒体は非定常抵抗が大きく、衝撃波及び水流ジェットの伝播・反射・回折が起こり、衝撃力を弱める。凹凸形状よりも、半円形状の方が衝撃力

の減衰が大きい。剛体壁より，99%以上の減衰結果を示し，半円形状が最も優れていた。

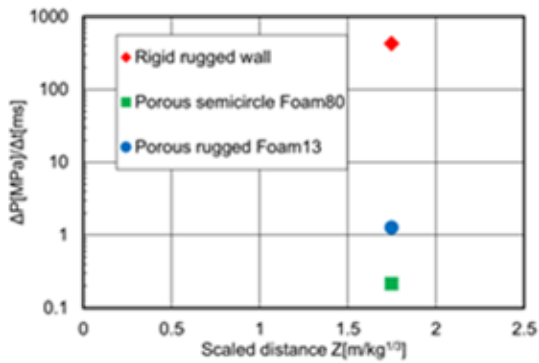


Fig. 3 Pressure gradient versus scaled distance for some surface shapes.

(3) 自律ロボットによる貯水タンクとその周辺環境の計測（道木・手嶋）

貯水タンクへの安全なアクセスルートやタンクの破損等を確認するための自律移動ロボットの実現第一歩として，前年度にロボットに搭載したカメラからタンク周辺環境を動画として転送する機能並びにロボットの遠隔操縦機能を実現した。その際，ベースとして用いた自律移動ロボットは屋内用であったため，安定した屋外環境走行が困難であった。そこで，今年度は購入したミニ PC（NUC キット）を用い，屋外走行に適した車体を制作した。制作したロボットには遠隔操縦用の全方位カメラの他，環境地図作製の 3 次元計測機も搭載した。続いて，遠隔操縦において無視できない通信遅延が作業効率に与える悪影響を抑制するためにセンサ情報に基づく AR 映像提示システムを構築し，障害物回避問題において有効性を検証した。被験者実験より，通信遅延が発生する状況下では映像のみよりも AR 映像を提示した時の方が障害物を確実に回避できる結果が得られた。