

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に関する 3 年成果報告

[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

本研究は、申請者らがこれまで取り組んできた高機能吸着剤粒子の開発技術及び微量有害化学物質の検出技術を融合して、災害時の救命に資する生存水かつ生活水の確保を行うものである。地震等の発生によりライフラインから途絶された場合、数日間の生存には水の確保が極めて重要となる。このために(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)「遠隔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た。(1)では重金属の吸着媒体及びパームトップ型の吸光度計の開発、(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)ではロボットの遠隔操縦機能と遠隔ロボットに搭載したカメラでの撮影を実現した。本浄水技術は、自然災害が絶えない我が国だけでなく、平常時であっても安全な水の確保が困難な海外地域においても社会的な要請が極めて高いものである。

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、河川や井戸水中のフッ化物、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・機械工学の知見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、遠隔操縦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した。

3. 研究の方法

本研究では、(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；電気：道木)」、(2)「耐震性貯水タンクの作製と評価 (土木：鈴木；機械：北川)」、(3)「遠隔操縦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を設定した。各分担研究の方法は「4. 研究成果」において成果と共に記す。

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)

まず、様々な中性分子や金属イオンなどを吸着することが可能な吸着剤粒子の新規合成を行った。これら吸着剤粒子は多機能である反面、粒子状であることからハンドリングは困難である。そこで吸着剤粒子を固めて成形することでハンドリングが容易な形状とする成形技術の確立について検討を行った。

成形手法の1つに、市販の接着剤を利用する手法がある。この手法によって成形された吸着媒体の例をFig. 1に示す。Fig. 1では円柱状の吸着媒体を示したが、厚さ数mm程度のシート、直径5mm程度の円柱など任意の形状に成形可能である。

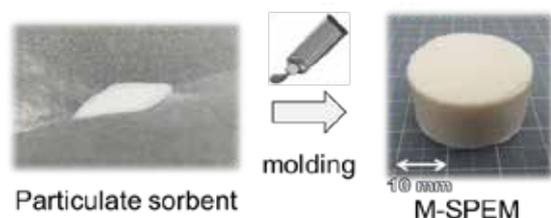


Fig. 1 A molding-type solid-phase extraction medium (M-SPEM) molded by an adhesive.

(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)

(1)-①で合成した新奇な吸着剤粒子あるいは吸着媒体による有害化学物質の除去能を評価するために、福井県立大学の片野肇教授との共同研究により、現場簡易分析を可能とするポータブル吸光光度計を開発した。光源には、フルカラーLEDを用いた。例えばこのLEDから発せられる青色発光を銅(I)-ネオクプロイン錯体が吸収する現象(結果、溶液は黄色を呈する)を利用して、重金属イオンである銅(II)の吸着能を評価できるかについて基礎検討を行った。まず銅捕捉容量が既知(0.25 mmol/g)である市販のキレート樹脂を用いて検討を行ったところ、ほぼ同等の銅捕捉容量値を得ることができた。よって本ポータブル吸光光度計の有用性が確認された。今後は、独自に合成された金属吸着剤の重金属捕捉容量を計測し、現場分析に応用する予定である。

(2)-① 耐震性貯水タンクの作製と評価(北川・鈴木)

2018年度は、従来よりタンク損傷の原因と指摘されていた、スロッシングおよびバルジング振動の抑制かつ地震外力の伝達を低減させることを目指し、タンクと基礎の間に減衰性の高いゴムシートを挟み、その低減効果について模索した。また、ゴムは外気温によりその強度に影響を受け易いため、冬季に夏季の条件下での実験をするためストーブなどを用いて温度環境をコントロールした。

2019年度はタンクの接合部のディテールに着目すると共に、地震時における内水圧の変化との因果関係を明確にし、同時にゴムシートの効果について検証し、最大で1/2程度まで水圧を低減できることを確認した。

2020年度は、タンクのパネル接合部のひずみ分布および破壊直前に至るまでのせん断変形性能について実験を行った。同時にタンク製作時は考慮していないが、実際の地震荷重下においては、内水圧とせん断変形が同時に生ずることから、FEM解析によりひずみ分布を検証した。その結果、Fig. 2に示すように通常設計で考慮している場所とは異なる部分に、より大きなひずみの発生が確認され、今後の検討課題となった。

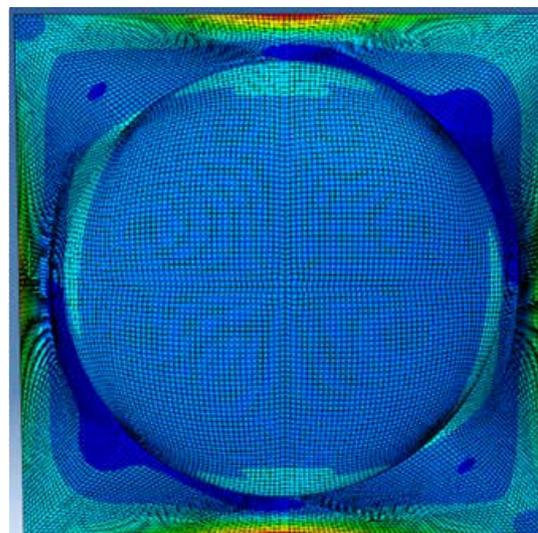


Fig. 2 Strain distribution diagram.

(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に換算運動量と換算距離の関係を示す。Fig. 3(a)は入射衝撃波、Fig. 3(b)は二次衝撃波の換算インパルスである。可変形空隙媒体背面のインパルスの値はすべて凹凸形状剛体壁のインパルス値よりも増加する現象が確認された。実際の構造物の破壊にはインパルスと同様に

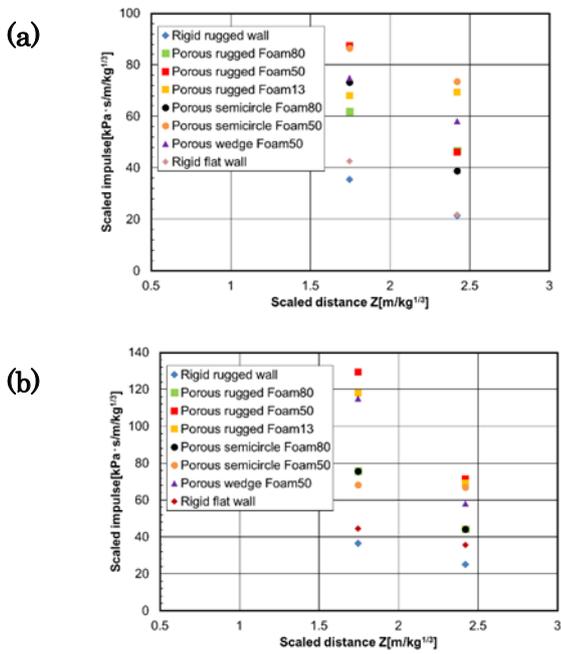


Fig. 3 Scaled impulse versus scaled distance. (a), First shock wave; (b), secondary shock wave.

衝撃荷重の変動が重要となる。

入射衝撃波 $\Delta P[\text{MPa}]/\Delta t[\text{ms}]$ は、凹凸剛体壁 > 半円 Foam80 > 凹凸 Foam80 > 凹凸 Foam13 > 半円 Foam50 > 楔 Foam50 > 凹凸 Foam50 の順で減少した。この結果、凹凸 Foam50 は凹凸剛体壁の衝撃荷重を約 1/236 まで減衰させることが明らかとなった。

(3) 遠隔操縦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、2018 年度はロボットに搭載したタンク周辺環境の動画転送機能とロボットの遠隔操縦機能を実現した。構築システムに 360°カメラと HMD を用いることで、遠隔操縦者は自身の操縦に適した臨場感ある視覚情報を元にロボットの遠隔操縦を行うことが可能となった (Fig. 4 (A))。2019 年度は前年度にロボットに搭載したカメラに環境地図作成用センサとして 3D LiDAR を搭載した。更に、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搭載した 3D LiDAR 情報に基づく AR 映像提示システムを構築し (Fig. 5(B))、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 映像を提示したと

きの方が、障害物を確実に回避できる結果が得られた。2020 年度は、インフラ点検を容易にするため、Fig. 5(C)に示すようにロボットにパンチルトカメラ (PT カメラ) を搭載し、HMD と連動することで貯水タンク確認操作が容易かつ高解像度の映像を取得可能なシステムを構築した。

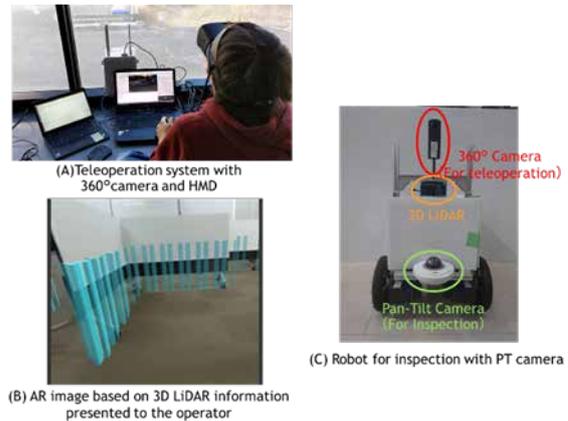


Fig. 4 Tank inspection system by a teleoperated mobile robot with 360° and PT cameras and HMD.