

平成 25 年度
環境研究総合推進費補助金 研究事業
総合研究報告書

防災・減災を志向した分散型
浄化槽システムの構築に関する研究
(3K122107)

平成 26 年 3 月

独立行政法人国立環境研究所 蛭江 美孝

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 24 年度～平成 25 年度）

所管 環境省

国庫補助金 22,477,000 円（複数年度の総計）

研究課題名 防災・減災を志向した分散型浄化槽システムの構築に関する研究

研究期間 平成 24 年 7 月 2 日～平成 25 年 3 月 31 日

研究代表者名 蛭江美孝（独立行政法人国立環境研究所）

研究分担者 仁木圭三（公益財団法人日本環境整備教育センター）
山崎宏史（一般財団法人茨城県薬剤師会検査センター）
田崎滋久（日本上下水道設計（株））
国安克彦（公益財団法人日本環境整備教育センター）

目次

総合研究報告書概要	1
本文	
1. 研究背景と目的	
1.1 研究背景	14
1.2 研究目的	14
2. 研究方法	
2.1 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立	14
2.2 避難所等での活用を見据えた自立型浄化槽システムの確立	24
2.3 GISによる情報把握システムと災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築	27
2.4 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価	29
3. 結果と考察	
3.1 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立	31
3.2 避難所等での活用を見据えた自立型浄化槽システムの確立	53
3.3 GISによる情報把握システムと災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築	63
3.4 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価	70
4. 結論	77
5. 参考文献	81
6. 研究発表	81
論文発表	
学会等発表	
7. 知的財産権の取得状況	82
8. 研究概要図	83
9. 英文概要	84
参考資料	85

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

研究課題名：防災・減災を志向した分散型浄化槽システムの構築に関する研究

研究番号：3K122107

国庫補助金清算所要額：22,477,000 円（複数年度の総計）

研究期間：平成 24 年 7 月 2 日～平成 26 年 3 月 31 日

研究代表者名： 蛭江美孝（独立行政法人国立環境研究所）

研究分担者： 仁木圭三（公益財団法人日本環境整備教育センター）、山崎宏史（一般財団法人茨城県薬剤師会検査センター）、田崎滋久（日本上下水道設計（株））、国安克彦（公益財団法人日本環境整備教育センター）

研究目的

本研究では、東日本大震災における浄化槽の被害・復旧状況等を踏まえ、ハード面でのアプローチとして、浄化槽の耐震構造・施工方法に関する実験・調査研究を行い、耐震型浄化槽の構造・施工方法の確立および従来基準の無かった浄化槽の耐震評価基準の策定を目的として検討を行った。また、災害時にも水洗トイレを使用可能とすることを主目的としつつ、水・熱・電気の総合効率向上を目指した避難所仕様の自立型浄化槽システムの開発・設計を目的として、仕様の整理および実験的検討を行った。ソフト面でのアプローチとしては、GIS を活用することで、平常時および被災時の情報収集・整理の考え方を整理しつつ、災害時の効率的なし尿・汚泥の収集・運搬のためのシミュレーションモデルを構築することを目的とした。これらを踏まえ、災害時の復旧・復興を考慮した汚水処理施設の評価指標の確立を目的として検討を行った。

研究方法

・ 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立

－ 浄化槽の構造別の被害の詳細解析

浄化槽は処理方式によって装置の構造が異なるため、浄化槽の強度や耐震性も異なっているものと考えられる。そこで、浄化槽の型式毎の破損等の被害の生じ方の特徴を把握するために、環境省の平成 23 年度東日本大震災浄化槽被害状況解析調査のデータを詳細に再解析し、型式毎に破損の生じ方と構造の関係を整理することにより、より地震に強い浄化槽の構造、施工方法について検討した。

－ 浄化槽の浮上に及ぼす構造・施工の影響解析試験

浄化槽設置における減災対策として、浄化槽の埋め戻しに関する充填実験を行った。また、液状化対策として、浮上、破損等が生じ難い浄化槽の構造、施工方法を検討した。具体的には、モデル浄化槽を設置した試験装置を用い、躯体の形状、埋め戻し方法、浄化槽の底板形状が槽の浮上に及ぼす影響について、浮上実験および土圧測定等による実験的検討を行った。

－ 減災に有効な施工方法の検討

減災に有効な施工方法として、埋戻し土を固化させる方法、埋戻し土に砕石を使用する方法について有効性等の確認を行った。

－ 東北被災 3 県における被災浄化槽の補修に関するヒアリング調査

大規模災害時に被災した浄化槽の修理・復旧を行うためには、資材・人材・機材および所要時間が制限されるものと考えられる。東日本大震災直後に行われた浄化槽の応急対応および修理の状況把握し、有効な応急対応方法を提言することを目的として、東北被災 3 県（岩手県・宮城県・福島県）の浄化槽協会の協力を得て、被災浄化槽のヒアリング調査を行い、情報を整理した。

－ 簡易な応急対応方法に関する検討

躯体が破損して漏水を生じている浄化槽の応急的な止水方法について検討することを目的とし、実際に破損した浄化槽を用いてマンホールの上から作業できる有効な手法について検討した。

・ **避難所等での活用を想定した自立型浄化槽システムの確立**

避難所等における災害時の衛生環境の確保および生活環境の向上のため、特に、し尿を中心とした排水への対応を念頭に、被災時にも水洗トイレの使用を可能とする自立型浄化槽システムの基本設計を行った。また、避難所等への節水トイレの導入に関する検討、冬季における低水温化と処理水質の調査を行った。さらに、浄化槽処理水の再利用を検討する上で、既存の排水再利用に関する基準等を調査するとともに、排水再利用のためのボトルネックと考えられた浄化槽処理水中の大腸菌数を調べるため、岩手県内にある浄化槽施設を 20 箇所ランダムに抽出し、浄化槽の法定検査時に処理水の水質、大腸菌の分析を実施した。

さらに、避難所仕様の自立型浄化槽システムの具体的な設計値を得るため、スクリーンユニット、膜分離ユニット、活性炭ユニットを主要構成ユニットとした試験用の浄化槽モデルを構築し、冬季を想定した 13℃の大型恒温実験室で試験・検討を行った。また、腐敗性の有機性廃棄物の処理に関する検討を行うほか、コージェネレーションによる熱電併給について試算を行った。

・ **GIS による情報把握システムと災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築**

浄化槽設置情報・被害状況の把握のため、浄化槽等関連施設等の地理情報と機能情報をデジタルマッピング（地図上で可視化）し、GIS により状況をひと目で把握可能なシステムを検討した。また、災害時の広域輸送の最適化計算を行い、地域に即した輸送モデルを構築することにより、不足する輸送能力（収集輸送車台数）や域外に搬出する量を算定可能なシステム基盤を構築した。また、単に域外へ輸送するシナリオだけでなく、調整槽による一次貯留や二次輸送等のシナリオにおける効率化についても検討を行った。

・ **災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価**

公共下水道や農業集落排水施設のような集合処理施設の整備区域内の人口動態に及ぼす東日本大震災の影響を明らかにすることを目的として、震災前後の被災3県における住民基本台帳人口、各種汚水処理施設の利用者(処理人口)数について、市町村毎の変化を調査した。さらに、東日本大震災の被害状況解析等を元に、汚水処理施設の評価指標に関して、災害時の復旧・復興を取り入れた考え方について検討した。ここでは特に、①長期の事業性、②将来の被災時の復旧コスト・速度、③公衆衛生・環境負荷に着目して議論・整理した。

結果と考察

・ 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立

浄化槽の型式毎の被害状況を調査・解析した結果、地震による被害は型式により異なる特徴が示された。例えば、高度処理型は型式5を除き、他の型式より「①浮上・沈下・水平狂い」の割合が高い傾向が示された(図1)。これらのほとんどは浄化槽の浮上により生じたものであった。これらの型式はいずれも嫌気ろ床槽第1室および第2室の上部が流量調整部となっており、地震発生時の3時ごろには槽内水位が低水位であったと想定されることから、地盤に比べて浄化槽の浮力が高くなった可能性が考えられた。高度処理型である型式5について、「①浮上・沈下・水平狂い」の割合が低かったコンパクト型と共通している構造は、流量調整部の水面積が型式1~4よりも狭いことであり、このような構造が重要な要因となり得る可能性が示唆された。

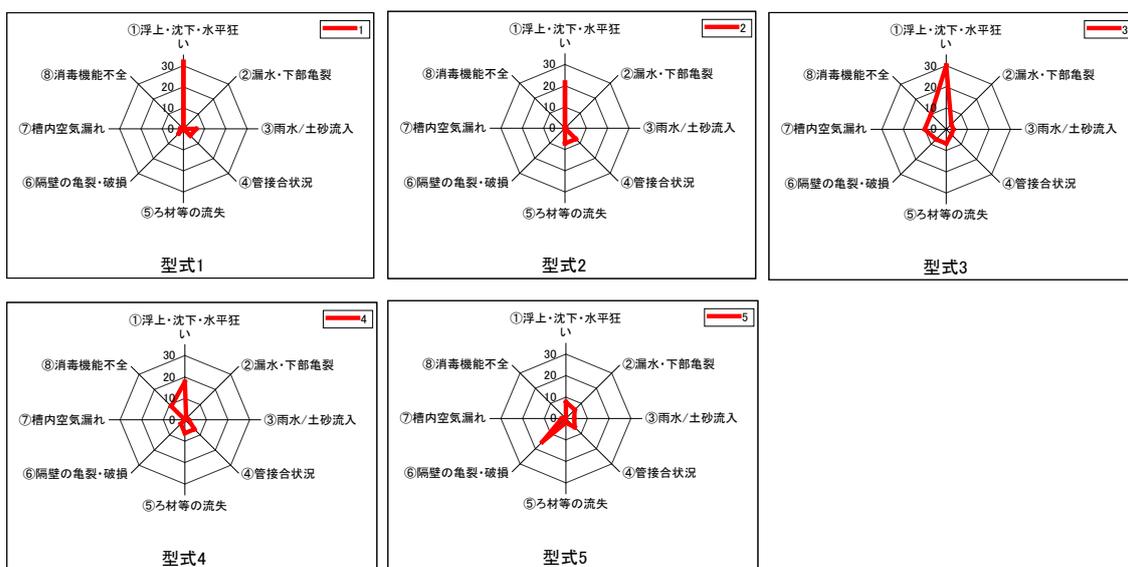


図1 高度処理型浄化槽の被害の割合

このような詳細解析の結果から、地震による横方向のゆれが生じた際に、揺れる水面積が広く、かつ槽の一部のみが揺れる場合に、浄化槽の重心が大きく変化しやすくなり、槽底部に液状化した土砂が侵入し、浄化槽を上方へ押し出すものと推測された。

液状化による浄化槽の浮上は、躯体の形状(縦横高さの比等)や重心が大きな因子となっていたものと考えられたことから、モデル試験による確認を行った。その結果、地震における浄化槽浮上による被害を低減させるためには、従来行われてきた浮上防止対策工事のほか、槽の形状や底板の構造が浮上に

影響を及ぼす因子として見いだされ（図 2）、浄化槽の浮上防止の観点では、躯体は平坦な面の組み合わせとするか、面積の広いリブを設けた構造とし、各側面の面積は同一とするのが望ましい形状であると考えられた。また、施工時の水張り・締固めの適正な実施も有効であることがわかった。

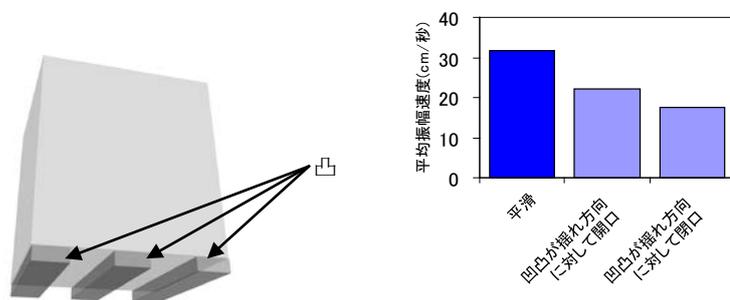


図 2 浄化槽底板の形状（左）と槽浮上時の平均振幅速度の関係

これらモデル試験の結果から、液状化が生じた場合、重心が高い浄化槽ほど傾きを生じやすく、底部から土砂が押し上げることで浄化槽が浮上すること、浄化槽の底板が平らではなく凹凸があるものほど浮上する確率が上昇すること等が推察された。

平均振幅速度と土圧の関係を調べたところ、平均振幅速度が高くなるほど、高い土圧が検出される傾向が認められたが、砂地盤では土圧が高くなり始める平均振幅速度が上部と下部で若干異なっており、これらの結果から、下部においても液状化が進みやすく、液状化すると上部からの圧力も受け、最大土圧が上昇し易かったものと考えられた。

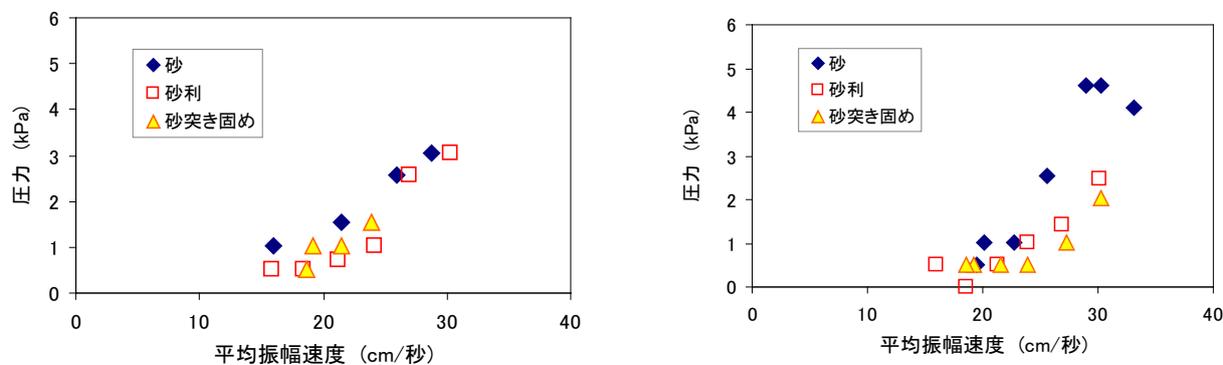


図 3 平均振幅速度と上部の横方向からの土圧の関係

このような液状化による浮上や水平狂い等の被害の対策として、埋め戻し土を固化する方法を検討した。DC バインダー、ポルトランドセメント等による固化試験を行ったところ、一定の効果が示唆されたが、費用対効果として十分に検討する必要が示された。また、碎石による埋め戻しについては、浄化槽と埋め戻し土の間に緩衝材としてウレタンフォームを用いることにより、FRP 躯体に対して角張った碎石の接触圧を緩和させられることが示された。

また、被災後の浄化槽の補修に関して東北被災 3 県においてヒアリングを実施した結果、保守点検業者が応急対応・修理を行っていたことなどから、型式により特定の箇所が破損する傾向が強いことや配

管の破断等、軽微な破損について被害状況や補修方法に関する様々な情報が収集できた。特に、耐震型の浄化槽や耐震性の高い施工方法の開発、浄化槽の耐震基準の策定に関する要望・示唆等の有用な情報が集まった。

これらを踏まえ、躯体が破損して漏水を生じている浄化槽に対して破損箇所の削りだしやプライマー処理等の前処理を行わずに、短時間で補修可能な応急的な止水方法について検討した結果、ポリウレア系樹脂の吹きつけは、浄化槽内部に入らないと作業が困難であり応急対応方法として課題が示された。一方、FRP系補修シートによる補修は、要件を完全に満たすことはできなかったが一定の効果が認められた。

・ 避難所等での活用を想定した自立型浄化槽システムの確立

一般的な排泄回数を既往研究から調査したところ、排泄大 1.09 回/人・日、排泄小 5.39 回/人・日であり、排泄回数に既存のトイレと節水トイレの洗浄水量を乗じたトイレ用水量を比較した結果、節水トイレを導入することにより、43.2%の節水効果が期待できることがわかった（表 1）。

表 1 便器の洗浄水量

	既存ストック		節水トイレ		節水率 (%)
	洗浄水量 (L/回)	洗浄水量 (L/人・日)	洗浄水量 (L/回)	洗浄水量 (L/人・日)	
大	10.1	11.0	6.0	6.5	—
小	8.9	48.0	5.0	27.0	—
計	—	59.0	—	33.5	43.2

再利用基準となっている大腸菌および通常の基準対象となっている大腸菌群について、20 施設のスポット調査および 2 施設の経日調査を実施したところ、通常の浄化槽システムでは大腸菌ゼロを担保することは困難であった。そこで、浄化槽処理水をトイレ洗浄水（中水）として利活用するため、大腸菌数をゼロにする方法として、膜分離法を選定した。

上述の情報を基にスクリーンユニット、膜分離ユニット、活性炭ユニットを主要構成ユニットとした試験用の浄化槽モデルを構築した。流入水量は 1m³/日、生ごみは 1.25kg/日として大型恒温実験室にて試験を行った結果、冬季を想定した 13℃試験においても、流入開始直後より、BOD、SS、NH₄-N は、常に 5 mg/L 以下で推移し、浄化槽としての良好な処理水質を確保できることが確認された（図 4、5）。コージェネレーションの廃熱利用を想定した加温試験では、30℃までは硝化速度の向上等の効果が見られたものの、膜分離ユニットを 40℃まで上昇させると NH₄-N が残存する傾向が認められたことから、浄化槽を熱需要源として効果的に活用するためには、温度に対する馴致や加温場所の変更等の改善が必要であることがわかった。

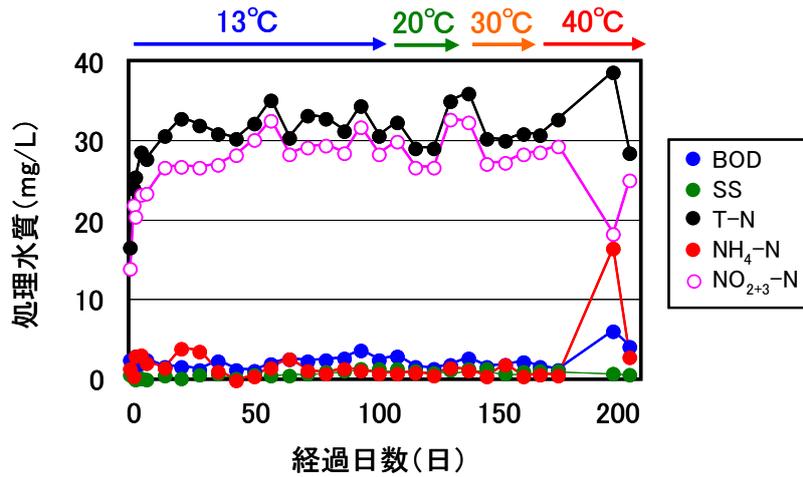


図4 膜分離ユニット出口水の処理水質（一般水質項目）

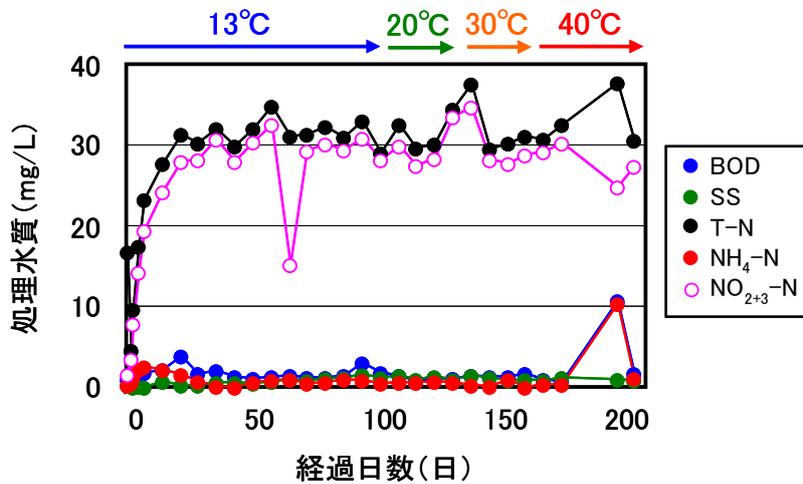


図5 活性炭ユニット出口水の処理水質（一般水質項目）

本モデルシステムにおける排水再利用のための水質基準値への適合性は、表2（膜分離ユニット出口水）および表3（活性炭ユニット出口水）に示すとおりである。この結果から、一般水質のみならず、排水再利用のための水質基準に対しても、流入開始直後より、確保できることが確認された。浄化槽をはじめとした生物による排水処理では、運転開始から所期の性能を発揮するまでの期間が比較的長いという特徴があるが、膜分離ユニットを用いることにより、運転開始直後より、排水再利用に適した処理が可能となった。

表 2 膜分離ユニット出口水の処理水質（排水再利用項目）

経過日数(日)	1	7	14	28	56	84
外観						
臭気	無	無	無	無	無	無
色度(度)Abs.390	11	17	15	13	13	15
濁度(度)Abs.660	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
大腸菌(cfu/mL) ^{※1}	0	0	0	0	0	0
大腸菌(/100mL) ^{※2}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※1 酵素基質選択培地(ECC) ※2 コリラート

表 3 活性炭ユニット出口水の処理水質（排水再利用項目）

経過日数(日)	1	7	14	28	56	84
外観						
臭気	無	無	無	無	無	無
色度(度)Abs.390	0	0	4	5	7	6
濁度(度)Abs.660	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
大腸菌(cfu/mL) ^{※1}	0	0	0	0	0	0
大腸菌(/100mL) ^{※2}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※1 酵素基質選択培地(ECC) ※2 コリラート

また、腐敗性有機性廃棄物として投入した生ごみについて、スクリーンおよびコージェネ廃熱の利用を想定した乾燥により、重量比で80%、体積比で74%の生ごみ削減効果があった。この結果から、ディスポーザで破碎し、スクリーンにより回収し、乾燥機で乾燥させることにより、生ごみのような腐敗性廃棄物を長期的、衛生的に保管可能であることを確認できた。

本研究で実験に供した自立循環型浄化槽システムモデルの通常時（13℃）におけるエネルギー消費量を調査した結果、電気エネルギーの使用量は、浄化槽運転における156.5 Wh、熱エネルギーの使用量は、生ごみ乾燥機運転における40.5 Whであった（図6）。コージェネレーションシステムにおける熱電併給割合を1：1と仮定すると、浄化槽運転に係る電気エネルギーが高く、生ごみ乾燥エネルギーは十分賄えるとともに、その差116 Whが余剰熱と推定された。これらの余剰熱の利用として、本研究では、上記で示したとおり、膜分離ユニットの加温に使用した。膜分離ユニットの加温に使用した熱エネルギーは、図7に示すとおりである。この結果から、膜ユニットを40℃まで加温しても、図6で示した余剰熱で賄える結果となった。また、加温による汚泥発生抑制の効果も示唆されており、これらの結果から、コージェネレーションシステムによる電気と熱の供給により、浄化槽の運転の他、低水温対策、生物活性の上昇、汚泥発生抑制に効果があると考えられた。

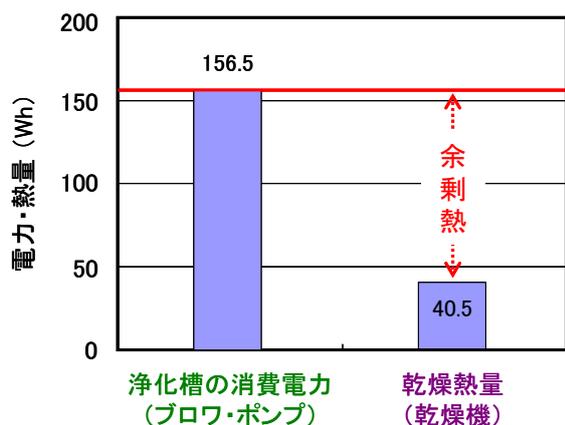


図6 電力エネルギー使用量と熱エネルギー使用量

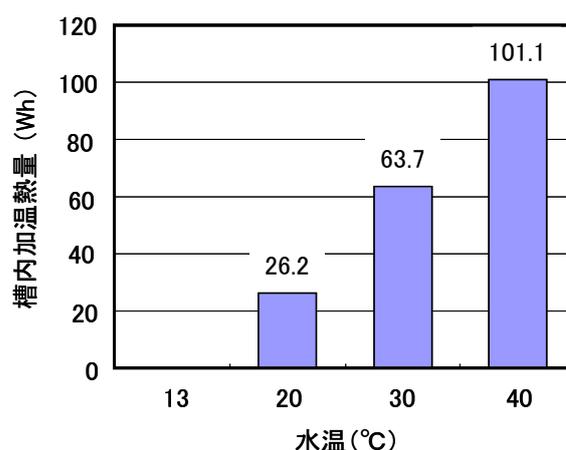


図7 膜ユニットの加温に必要な熱エネルギー使用量

GISによる情報把握システムと災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築

GISを活用した被害状況確認と浄化槽台帳による情報集約化の確認システムの構築を目指し、GIS浄化槽台帳への被災情報ルーチンの組み込み、情報端末モバイルの作り込みなどのカスタマイズの検討を進めた。今後、開発中の被害状況調査システムや収集運搬シミュレーションとの連携を進めるとともに、東北被災3県の浄化槽関連団体等との意見交換を通じて、平常時・災害時に活用可能な情報管理システムの構築を図ることとしている。

また本研究では、減災を目的とする処理計画最適化を念頭に、被災前後の輸送シミュレーションを行った。さらに、発災前の対策として多目的貯留槽を整備することによる中長期的な対策および発災直後の迅速な対応に主眼を置いた仮設ピット導入による短期的な対応の2つの視点に基づく分析を試みた。

まず、対象としたI県における構成市町村(33市町村)およびし尿処理施設(県内13施設A~M、隣接県9施設N~V)の輸送経路をモデル化した(図8)。その上で、被災・処理シナリオを設定し(表4)、LPモデルおよびMILPモデルによって、中継基地の導入効果を含めて最適化計算を行った。その結果(表5)、構成自治体による現在の運搬先の実績から計算したton・kmは20,939[ton・km]となり、caseA-1の結果は実際の処理計画よりも改善が図られた状態となっている。被災前のcaseA-1と被災後に県内のみで処理を行うcaseA-2を比較すると、ton・kmは約3.4倍に増加しており、震災被害による影響が大きく現れている。また、県外施設との共同処理に関して、県外の協力が不十分なcaseA-3では、caseA-2に対する削減量がわずかであるが、十分な協力が得られるcaseA-4の結果は、県内のみで処理したcaseA-2と比較して4,684[ton・km](約9%)削減可能であることが読み取れる。このとき、各施設への輸送量を既存の施設能力で除した施設負荷率を計算することにより、施設C、E、Kの3施設が重要な拠点となり、適切な容量の貯留槽を整備することにより、円滑な運用に大きく貢献することが明らかとなった。また、中継輸送の効果をMILPモデルで評価したところ、中継基地の導入による総費用の削減効果が確認できたが、中継輸送への積極性の違いによって重要視すべき拠点が変化することなどが明らかとなった。

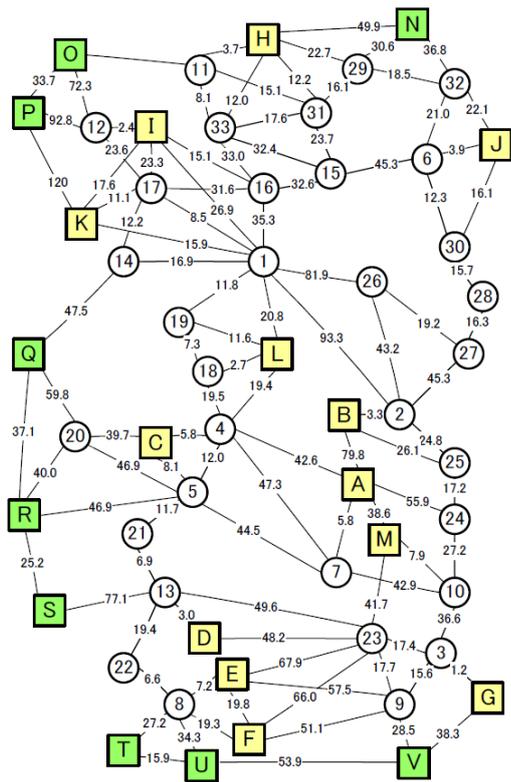


図8 対象地域のネットワーク図

このような試算により、平常時の輸送最適化を図るとともに、被災時に必要となる輸送能力を事前に把握することが可能であり、防災計画の策定等においても有用である。さらに、被災時の有用性の向上および平常時の効率的な運用を図る意味で、し尿・浄化槽のみならず、上下水道、ガス、電気等の社会インフラと同じシステム基盤を共有していくことが重要であると考えられた。

・ 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価

東日本大震災で大きな被害を受けた岩手、宮城および福島3県における人口動態、汚水処理施設の整備状況について調査・検討した結果(図4)、震災後、汚水処理人口が減少している42市町村の中でも汚水処理施設未整備区域より整備区域の方が住民基本台帳人口の減少数が多い12市町村では、下水道施設や農業集落排水施設等の集合処理施設整備区域内における人口減少傾向に歯止めがかかるか、増加に転じなければ、使用料収入が大幅に減少し、市町村財政に及ぼす下水道償還の影響度合いがより大きくなる懸念された。

2050年における減少率は人口規模が小さくなるにつれて人口減少率が大きくなる傾向が見られることか

表4 対象地域のネットワーク図

		県内施設		県外施設
		県西部(8施設)	県東部(5施設)	
震災前	caseA-1	○	○	/
	caseA-2	○	×	
震災後	caseA-3	○	×	△
	caseA-4	○	×	○

※○:多目的貯留槽, △:余裕量分のみの受入れ, ×:施設機能停止

表5 輸送効率性

ケース	輸送効率性 (ton・km)	相対値1	相対値2
Case A-1	14,657	1.00	-
Case A-2	49,523	3.38	1.00
Case A-3	48,759	3.33	0.98
Case A-4	44,839	3.06	0.91

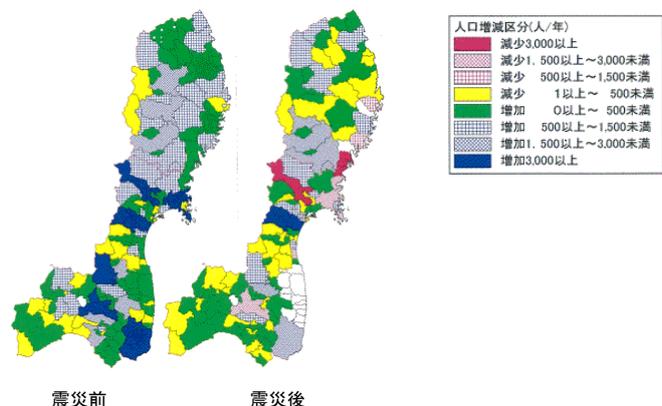


図4 震災前後における市町村別、汚水処理人口の増減状況

ら、今後、更新時期を迎える全国の中小都市の下水道施設の持続性を確保するために、被災 3 県における下水道等の集合処理施設整備区域内の人口動態が下水道経営にどのような影響を及ぼすのか、さらに持続的な経営を行うためにはどのような対策が有効なのかなどを継続的に注視する必要があると考えられる。

災害時の復旧・復興を考慮した評価指標を検討するため、東日本大震災の被害状況解析等を元に、1. 長期的な事業性、2. 将来の被災時の復旧コスト、速度、3. 災害時の公衆衛生、環境負荷の 3 つに分けて考え方を整理した (表 6)。

復旧にかかるコストについて、東日本大震災における下水道災害査定の結果を見ると、被災 3 県で約 2,500 億円となっている。これを各県の下水道人口で除した金額を一人当たりの下水道復旧コストと見なすと、3 県の平均は 7.2 万円/人となる (表 7)。下水道と浄化槽では諸条件が異なるが、目安として、①一人当たりの下水道復旧コストに浄化槽人口を乗じた金額と②浄化槽設置基数に被害割合を乗じた基数を算出し、①/②の金額と比べて、浄化槽一基あたりの補修費の方が低ければ、復旧コストとしては浄化槽の方が経済的となる。仮に、環境省調査で示された全損 3.3%を被害割合として使用した場合、平成 22 年度末の浄化槽人口、設置基数で試算すると、3 県全体で浄化槽人口 653 千人、設置基数 167,499 基で、浄化槽 1 基あたりに充てられる補修費は 855 万円となる。

表 6 災害対応・復旧を考慮した汚水処理施設の評価の方向性

評価指標	データソース
1. 長期的な事業性	・ 震災後の人口動態および汚水処理施設整備状況等
2. 将来の被災時の復旧コスト・速度	・ 災害復旧関係事業 (下水道)、国土交通省公表資料等の統計・調査データ ・ 廃棄物処理施設災害復旧費補助金 (市町村設置型に限る)、ヒアリング調査の結果
3. 災害時の公衆衛生、環境負荷	・ 国土交通省下水道部 下水道施設の被災状況と復旧の状況等の公表資料、統計・調査データ ・ 法定検査の公表資料、環境省公表資料等の統計・調査データ

表 7 被災 3 県における一人当たりの下水道復旧コスト

	下水道災害査定額 (千円)	下水道人口 (人)	一人当たり下水道災害査定額 (円)
岩 手	13,902,412	691,600	20,102
宮 城	221,610,295	1,800,916	123,054
福 島	15,743,482	975,949	16,131
全体	251,256,189	3,468,465	72,440

無論、全損には当たらないが補修が必要な浄化槽もあるが、逆に、環境省の調査は震度 6 弱以上の地域に絞って調査を行った結果であり、全設置基数に対して 3.3%の被害率とする計算は被害基数・被害額を多めに見積もっていると考えられる。実際、岩手県全体としては、軽微な被害を除いて、地震による浄化槽本体の被害は多く見積もっても 2%程度という報告もなされている¹⁾。いずれにしても浄化槽の被

害金額を精緻化する必要があるが、市町村整備事業は国庫補助があり、金額を把握できる可能性はあるが、個人設置型の浄化槽は補助がないため、被害金額の見積もりは困難な状況にある。また、一人当たりの下水道復旧コストを県別に見ると、岩手県、福島は一人当たり約 2 万円程度であるが、宮城県は約 12 万円と 6 倍も開きがある。市町村毎ではさらに大きな開きがあると推察されることから、個別に精査していくことが望ましい。

上述したように、個々に精査が必要ではあるものの災害時の復旧コスト・速度を考慮した場合、下水道整備区域と浄化槽整備区域の線引きは、これまでの費用関数とは異なる考え方が必要となることが示唆された。

被災後の公衆衛生・環境汚濁負荷の評価については、浄化槽については環境省の被害状況調査や法定検査結果（7 条、11 条）、下水道については国土交通省の被害状況調査（終末処理場および管きよ、ポンプ場の被害状況）、関連する論文データを用い、汚濁負荷量の変化を試算することで、経時的・累積的に評価できると考えられる。浄化槽について、岩手県における震災前後の法定検査（11 条）の結果（図 5）を見ると、震災前後の処理水 BOD 濃度に変化は無く、残留塩素非検出率も変わらないことから、浄化槽の被災による環境負荷、汚濁負荷は極めて小さいものと推察された。一方、国土交通省は下水処理場における応急対応レベルを 4 段階に分け、レベル 1：消毒のみ（BOD >120 mg/L）、レベル 2：沈殿+消毒（BOD 120 mg/L）、レベル 3：生物処理+沈殿+消毒（BOD 40~100 mg/L）、レベル 4：通常の処理（BOD 15 mg/L）としている。実際に大震災における下水処理場の応急対応レベルの推移²⁾を見ると、発災から 1 年半の時点でもレベル 3 以下の施設が複数あり、発災直後には 3 ヶ月程度まで消毒のみで放流されていたことがわかる（図 6）。被災後の状況で、流量等のデータを取得することは困難であるが、一般の汚水量や直近のデータからの推計により、定量的な比較・解析が可能になるものと考えられる。

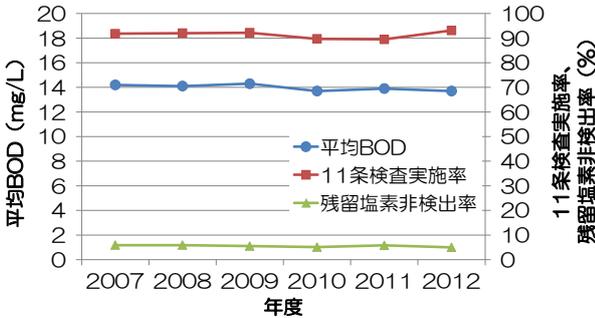


図 5 震災前後の法定検査（11 条）の結果

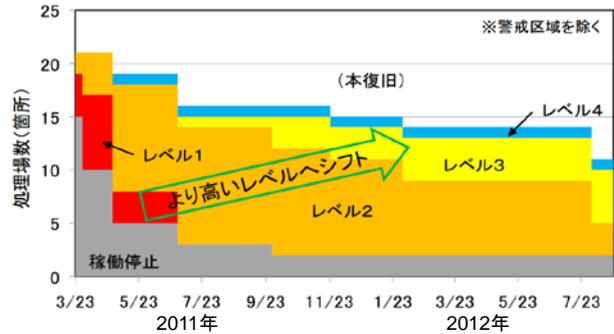


図 6 下水処理場における応急対応レベルの推移（出典：国土交通省、下水道施設の被災状況と復旧の状況（2012）²⁾）

環境政策への貢献

○耐震型浄化槽の構造・施工方法

浄化槽の震災被害は、型式などの構造的特徴によって傾向が異なることが被害状況の詳細解析やモデル試験により明らかにされた。また、地震における浄化槽の浮上防止の観点では、従来行われてきた浮上防止対策工事のほか、適切な施工方法が重要であることがわかった。これらの成果は、浄化槽の耐震設計や耐震施工、さらには浄化槽の耐震性評価の方法・基準の確立に極めて有用である。

○避難所仕様の自立型浄化槽システム

構築したモデルシステムでは、膜分離ユニットを用いることにより、運転開始直後より排水再利用に適した処理水が得られることが明らかとなった。本研究で開発する自立型浄化槽システムは災害時においても水洗トイレの使用を可能とするものであり、災害時の避難所における衛生管理や QOL の向上に効果的であると考えられる。

○浄化槽被害情報調査システム

GIS を活用した被害状況確認と浄化槽台帳による情報集約化の確認システムの構築を目指し、環境省の「災害時の浄化槽被害等対策マニュアル（第2版）」に準拠した形で整理・検討を進めた。今回完成には至らなかったが、平時の浄化槽管理の効率化とともに、災害時の被災・復旧状況に関する情報集約・整理にかかる時間を大幅に短縮し、行政支援に繋げることが期待できる。

○し尿・浄化槽汚泥の収集輸送システム

被災時のし尿・汚泥の収集輸送シミュレーションモデルを構築したことにより、沿岸部被災ケースでは通常時に比べて約 3 倍の輸送能力が必要なること、中継基地や仮設ピットをどこに配備することが効率的なし尿・汚泥の輸送に繋がることなどを明らかにすることができた。このようなシミュレーションを災害前に実施しておくことにより、平常時の輸送最適化を図るとともに、被災時に必要となる輸送能力を事前に把握することが可能であり、地域防災計画や災害時協力協定の策定等においても有用である。

○災害対応の観点を取り入れた汚水処理施設整備の評価

被災時のトイレ使用、病原性微生物、環境負荷、事業性、将来の被災時の復旧コスト・速度等の評価指標とした災害対応の観点を取り入れた汚水処理施設整備の評価に関する考え方を提示した。例えば、浄化槽の被災による環境負荷、汚濁負荷は下水道と比べて極めて小さいものと推察された。また、下水道整備区域と浄化槽整備区域の区分けは、従来、経済的合理性として家屋間距離などが示されているが、災害時の復旧コスト・速度を考慮した場合、これまでの費用関数とは異なる考え方が必要となることが示唆された。このような災害対応の観点を取り入れた汚水処理施設整備の評価は、長期的なインフラ整備の観点から、極めて有用であると考えられる。

研究成果の実現可能性

災害対応型の浄化槽の構造・施工方法は、本研究で得られる基盤的知見を基に実規模試験やモデル実証を行うことで実用化が可能であると考えられる。但し、処理機能や製造・運搬等とのバランスも必要であることから、メーカーを含めた研究開発体制が重要である。また同時に、それを評価する仕組みが重要であるため、浄化槽の性能評価機関である（一財）日本建築センターにおいて、耐震性評価を FRP 評定の一環として位置づけて実施していく見通しである。さらに、基準を国際化していくことにより、浄化槽の海外展開への波及効果が期待される。避難所仕様の自立型浄化槽は、モデル実証を行うととも

に、災害対応としての費用補助などの普及支援が重要と考えられる。GIS を活用した情報把握と復旧支援システムは、浄化槽台帳の整備事業や災害時の協力協定等と併せて実用化に向けた関係者の議論が肝要である。

結論

浄化槽の構造・施工方法と被災状況の解析および液状化のモデル試験の結果、浄化槽の浮上防止の観点から留意すべき構造・施工方法が見いだされ、耐震性評価についても基準策定の検討を進めた。避難所仕様の自立型浄化槽については、基本試験により処理水の再利用が可能であることを確認でき、エネルギーバランスの解析により、避難所全体のエネルギー効率向上の基礎を確立できた。また、輸送シミュレーションモデルの開発の結果、沿岸部被災ケースでは、通常時の約 3 倍のし尿・汚泥の輸送能力が必要となるが、仮設ピット等の適切な配備と広域連携により、輸送効率を向上できることが明らかとなった。このようなシミュレーションモデルは、防災計画の策定等において有用であると考えられた。更に、震災前後の人口動態等のデータ解析により、汚水処理施設整備のコストに留意すべき市町村の特徴を把握することができたとともに、災害対応という観点を取り入れた汚水処理施設整備の評価について基礎的検討を進めることができた。

参考文献

- 1) 稲村成昭：東日本大震災による被災浄化槽の応急対応と復旧について、月刊浄化槽、vol.447、5-15 (2013)
- 2) 国土交通省：下水道施設の被災状況と復旧の状況 (2012)

1. 研究背景と目的

1.1. 研究背景

災害時、被災地のし尿処理の問題は電気、水道、通信などの基盤インフラの復旧と並んで極めて重要な課題である。環境省の調査によれば、東日本大震災における浄化槽被害は少なく、浄化槽が地震に強いことが改めて示された¹⁾が、浄化槽本体あるいは管きよの破損により衛生的な処理が不能となり、汚水を排出することができない建築物もあった。汚水の排出ができなくなると水洗トイレが使用できない、台所等の衛生環境が低下する等、被災者の衛生環境の低下による肉体的および精神的な健康障害を生じることになる。従って、このような事態とならぬようにするためには、これまで以上に大規模な地震等の災害においても対応可能な浄化槽の開発・普及が重要であると考えられる。

また東日本大震災は、被災が甚大で広範囲であったことから、応急仮設住宅が建設され入居が開始されるまでの間、避難所等における生活の長期化が余儀なくされる事態となった。避難直後の優先事項はライフライン（水、食料、ガス等）の確保であったが、避難生活が長期化するにつれて、プライベートスペースや衛生環境など、QOL（Quality of Life）の確保が重要視されるようになった。特に、排水処理施設の被災から生じた水洗トイレの使用制限は、避難者、被災者にとって大きなストレスとなり、また、衛生面からもその対策が必要となった。仮設トイレが十分に設置された避難所等においても、トイレ洗浄水の不足やバキュームカーの配車が追いつかない状況から、糞が大量に便器内に残った事例も聞かれた。また、終末処理場、下水管きよ、ポンプ場等の被害によっては、被災地のみならず、非被災地においても排水自粛要請がなされるなど、その影響は大きかった。

災害復旧は全力で行われたものの、都市ガス、下水道等の集中インフラは、その規模の大きさおよび範囲の広さから復旧の遅れが指摘されており、一方、LPガスや浄化槽等の分散インフラは被害が限定的であったことから、災害に対して有効であるとの指摘もなされている。このような状況から、少なくとも避難所や防災拠点等においては、災害時においても水洗トイレおよび汚水処理を可能とするシステムの適用が期待される。

このような事態は、震災による道路事情の悪化や燃料調達の困難さのほか、し尿・汚泥を運搬するバキュームカーやし尿処理場が被災してしまい、広域連携による他施設への移送必要量が平時の輸送能力を超えていたことも原因であった。従って、平時より、し尿・汚泥の輸送効率化を進めつつ、災害時にも効率的にし尿・汚泥を輸送可能な体制作りが重要であると言える。

そして、今後の汚水処理整備を考える上では、災害を「想定外」ではなく、将来必ずあり得る事象として認識し、防災・減災を考慮した汚水処理施設整備の考え方にシフトしていくことが求められている。

1.2. 研究目的

本研究では、東日本大震災における浄化槽の被害・復旧状況等を踏まえ、ハード面でのアプローチとして、浄化槽の耐震構造・施工方法に関する実験・調査研究を行い、耐震型浄化槽の構造・施工方法の確立および従来基準の無かった浄化槽の耐震評価基準の策定を目的として検討を行った。また、災害時にも水洗トイレを使用可能とすることを主目的としつつ、水・熱・電気の総合効率向上を目指した避難所仕様の自立型浄化槽システムの開発・設計を目的として、仕様の整理および実験的検討を行った。ソフト面でのアプローチとしては、GISを活用することで、平常時および被災時の情報収集・整理の考え方を整理しつつ、災害時の効率的なし尿・汚泥の収集・運搬のためのシミュレーションモデルを構築することを目的とした。これらを踏まえ、災害時の復旧・復興を考慮した汚水処理施設の評価指標の確立を目的として検討を行った。

2. 研究方法

2.1. 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立

2.1.1. 浄化槽の構造別の被害の詳細解析

浄化槽は処理方式によって装置の構造が異なるため、浄化槽の強度や耐震性も異なっているものと考えられる。そこで、浄化槽の型式毎の破損等の被害の生じ方の特徴を把握するために、環境省の平成 23 年度東日本大震災浄化槽被害状況解析調査の 1,151 施設のデータを元に、10 基以上の調査データがある 22 型式、684 施設について詳細に再解析を行い、型式毎に破損の生じ方と構造の関係を整理することにより、より地震に強い浄化槽の構造、施工方法について検討した。

2.1.2. 浄化槽埋め戻し土の締固め実験

下水道の管路においてはマンホールの液状化対策に資する埋め戻し方法として、①埋戻し土の締固める、②碎石による埋戻す、③埋戻し土を固化させる、といった方法が実用化されている^{2, 3)}。これらの対策が、FRP製で形状が複雑な浄化槽の施工においても有効であるかどうかを確認するため、モデル試験を実施した。

砂を用いて浄化槽を埋め戻す際の水締め、締固めの効果を確認するため、内径 60mm の 1L のメスシリンダーによる埋め戻し充填実験を行った。試験に用いた砂利および砂は、予め 115℃ で 2 時間乾燥させた(以下、砂利、乾燥砂と示す)。但し、砂は含水率 7.2% の砂がビニル袋に密封された状態で販売されていること、および実際に乾燥したものを現場使用することは困難な場合が多いものと考えられたことから、袋を開封した直後の砂(以下、砂と示す)を試料とした。1L のメスシリンダーに表 2-1-1 に示す条件で砂あるいは砂利を充填し、その空隙率を測定した。条件に記載した突き固めに用いた器具は図 2-1-1 に示すものを用いた。

表 2-1-1 実験条件

試料	RUN	条件
乾燥砂利	1	1Lメスシリンダーに標線まで投入
乾燥砂利	2	1Lメスシリンダーに200mL投入し、器具1を10cmの高さから20回落下させる操作を200mLごとに行う
乾燥砂利	3	1Lメスシリンダーに200mL投入し、水を約40mL加えた後、器具1を10cmの高さから20回落下させる操作を200mLごとに行う
含水率7.2%の砂	4	1Lメスシリンダーに標線まで投入
含水率7.2%の砂	5	1Lメスシリンダーに200mL投入し、器具1を10cmの高さから20回落下させる操作を200mLごとに行う
含水率7.2%の砂	6	1Lメスシリンダーに200mL投入し、水を約40mL加えた後、器具1を10cmの高さから20回落下させる操作を200mLごとに行う
乾燥砂	7	上部から1Lになるまで砂を投入
乾燥砂	8	200mLずつ棒(直径25mm)で突き固め1Lに充填
乾燥砂	9	200mLずつ棒(直径25mm)で突き固めるとともに上下に20回振動添圧させ1Lに充填

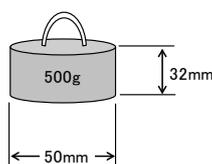


図 2-1-1 突き固めに用いた器具

2.1.3. 浄化槽の躯体形状による影響

現在設置される浄化槽のほとんどが、工場生産型の樹脂製浄化槽である。これらの形状は直方体ではなく各面が曲面である。例えば、地震における横方向からの揺れに対しても、運動エネルギーは浄化槽に衝突することにより方向を変え、浄化槽を移動させる要因となるものと考えられる。浄化槽の位置が変位する要因には、周囲の土砂が液状化^{4~8)}した際の比重さ等も大きく関係するものと考えられるが、浄化槽の形状による影響も検討しておく必要があるものと考えられる。そこで、地盤の液状化現象が生じた際の浄化槽の形状の違いによる浮上効果について検討した。

幅 40mm の振幅ができる振幅台に砂と水を入れた容器(地盤槽)にモデル浄化槽を設置した実験装置(図 2-1-2)を準備し、振幅周期を変化させてモデル浄化槽(モデル槽)の変位を測定した。地盤槽の大きさは W445 H350 D305(mm)とし、モデル槽の仕様は図 2-1-3 に示すとおりである。

地盤槽の中央にモデル槽を置き、周囲に含水率約 7% の砂を投入した。モデル槽の高さまで砂を投入した後、水をモデル槽の高さまで加えた。振動を与える前に砂層が沈下した場合には、砂を補充し、投入した余剰水を引き抜いてモデル槽の高さまでとした。この状態で、振幅を 1 分程度加えモデルの浮上の有無を確認した。

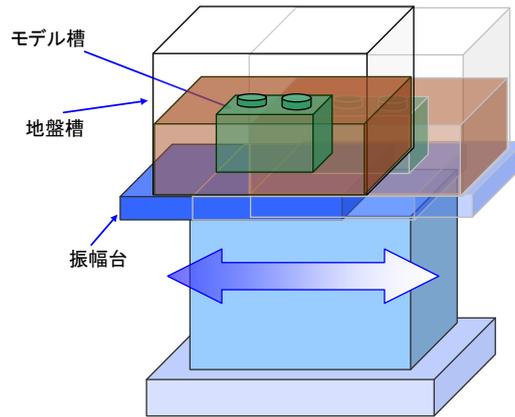


図 2-1-2 試験装置概要

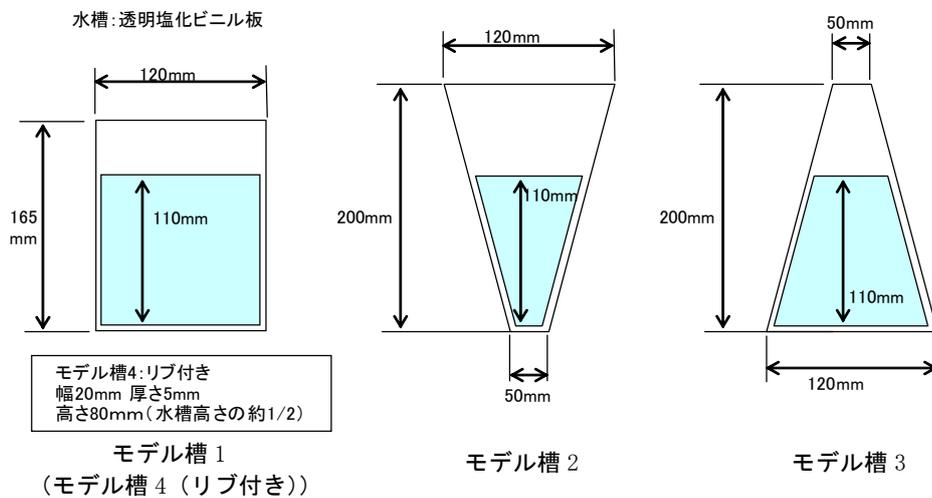


図 2-1-3 モデル槽の仕様

また、この実験では液状化の際の躯体形状の影響を明確にするため、地盤が液状化しやすい状態としたが、実際に適正な締固めがなされた場合の効果を確認するため、モデル槽 1 を用い、砂の充填方法について砂入れた後に水締め締固めた場合と、砂を 3cm 入れるごとに水締め・締固め行った場合で比較実験を行った。さらに、浄化槽の底板の形状にも着目し、底板を樹脂板により凹凸構造としたモデル槽についても実験を行った。

2.1.4. 地震の際の槽内水のフラッシング

定性的な実験として浄化槽の模型に所定の水位まで水を張り、振幅させた、その状況をビデオカメラで記録するし、槽内水のフラッシング状況を確認した。

2.1.5. 地震による浄化槽に対する土圧および間隙水圧に関する実験

地震により浄化槽本体および内部設備の変形・破損が生じる被害事例がある。被害を受けた浄化槽は、修理が可能であるものがほとんどであるが、浄化槽の躯体に亀裂を生じた場合には漏水により地下水を汚染する可能性がある。そこで、2.1.3 と同様な条件で地盤槽を水平に振幅運動させた場合における地盤が垂直壁に及ぼす土圧の特性について検証するため、地盤槽をと圧力センサを用いて実験を行った。

(1) 地盤槽

1) 大きさ

地盤槽は表 2-1-2 および図 2-1-4 に示す 3 種類を用い、幅方向に振幅を与えるものとした。なお、槽の形状による土圧特性の比較においては、地盤槽 1 を奥行き方向に振幅を与える検討も行った。

表 2-1-2 地盤の大きさ (mm)

地盤槽1	W290 H290 D150 (平面積 43,500mm ²)
地盤槽2	W230 H300 D100 (平面積 23,000mm ²)
地盤槽3	W440 H350 D300 (平面積 132,000mm ²)

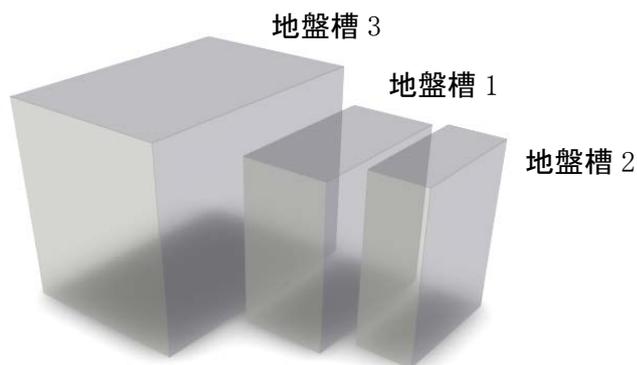


図 2-1-4 地盤槽の外観イメージ

2) 地盤の厚さおよび調整

地盤には前述の砂および砂利を用い、振幅により液状化が生じやすいよう、間隙を水で満たした。地盤の高さは 23cm (以下、標準と示す。) あるいは 28cm (以下、深埋めと示す。) とした。

3) 実験に用いたセンサ

実験には間隙水圧計および土圧計を用い、振幅により生じる土圧とそのときに生じている間隙水圧を 0.01 秒ごとに計測した。間隙水圧計 (図 2-1-5) および土圧計 (図 2-1-6) の概要を以下に示す。

① 間隙水圧計

センシズ製	: HWY-001
圧力の種類	: ゲージ圧
定格圧力	: 100kPa
過大圧力	: 定格圧力の 3 倍
電源	: 6VDC
オフセット値	: ± 5mV
定格出力値	: 40 ± 15mV
精度	: ± 0.5% FS 以下
使用温度範囲	: 0 - 60°C
補償温度範囲	: 0 - 40°C
零点の温度特性	: ± 0.05% FS/°C以下 (0 ~ 40°C)

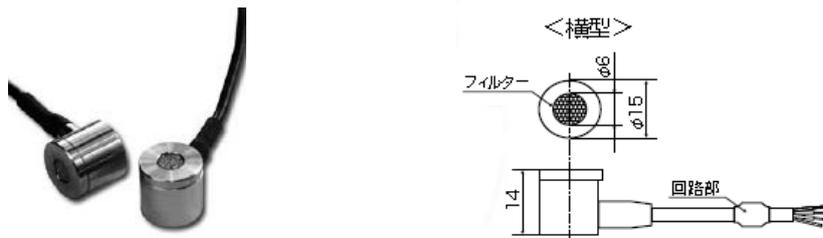


図 2-1-5 間隙水圧計の外観と大きさ

② 土圧計

センシズ製 HWF-001

圧力の種類 : ゲージ圧

定格圧力 : 100kPa

過大圧力 : 定格圧力の 3 倍

電源 : 6VDC

オフセット値 : $\pm 5\text{mV}$

定格出力値 : $40 \pm 15\text{mV}$

精度 : $\pm 0.5\%$ FS 以下

使用温度範囲 : $0 - 60^\circ\text{C}$

補償温度範囲 : $0 - 40^\circ\text{C}$

零点の温度特性 : $\pm 0.05\%$ FS/ $^\circ\text{C}$ 以下 ($0 \sim 40^\circ\text{C}$) 定格圧力 100kPa

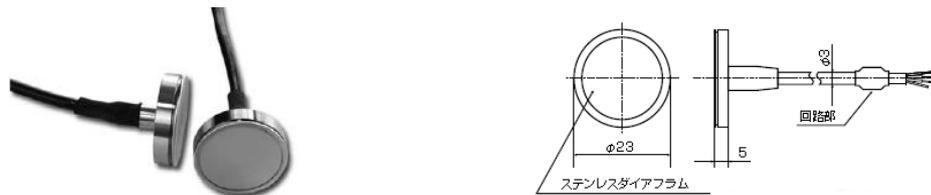


図 2-1-6 土圧計の外観と大きさ

これらのセンサを図 2-1-7 に示す支持具に取り付け地盤槽に設置した。設置位置は、それぞれの地盤槽とも支持具の上端が、地盤より下 10mm の位置となる位置(上部)と、地盤槽の底板から 10mm の位置(下部)とした(図 2-1-8)。また、土圧および間隙水圧は、地盤の設定時に 0MPa として計測を始めた。

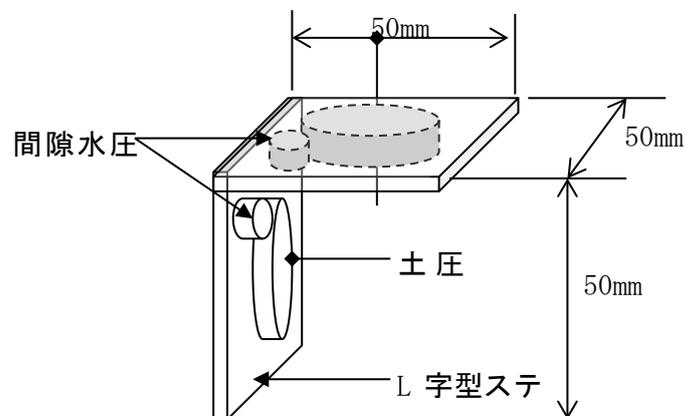


図 2-1-7 支持具の概要

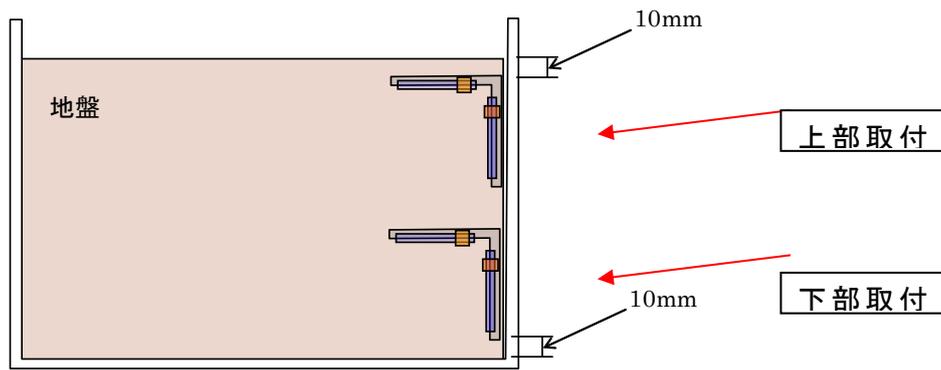


図 2-1-8 センサ設置位置

2.1.6. 東北被災 3 県における被災浄化槽の補修に関するヒアリング調査

(1) 岩手県

平成 25 年 2 月 18 日～20 日の期間内に 8 箇所において東日本大震災による被災浄化槽のヒアリング調査を実施した（表 2-1-3）。なお、調査は 4 名で調査先ごとにヒアリング調査を実施した。

表 2-1-3 岩手県におけるヒアリング調査

調査先	所在地	主な業務内容	主な営業範囲
A	滝沢村	破損した浄化槽(特に重度)の修理	岩手県全域および隣県
B	盛岡市	施工・保守点検(修理は他社管理分が主)	岩手県全域
C	奥州市	施工・保守点検	岩手県内陸南部
D	奥州市	保守点検・清掃	奥州市
E	奥州市	市町村設置型(PFI 含む)浄化槽の設置および管理	奥州市
F	一関市	施工・保守点検・清掃	一関市
G	大船渡市	施工・保守点検・清掃	岩手県沿岸南部 および内陸南部
H	陸前高田市	施工・保守点検・清掃	岩手県沿岸南部

(2) 宮城県

平成 25 年 2 月 25 日～27 日の期間に維持管理業者(4 社)から 59 施設に関する応急対応あるいは修理等を確認した。事前に対象施設の情報整理をお願いし、その調査票を元に、維持管理業者の担当管理士または修理を実施した職員に対しヒアリング調査を実施することにより、応急対応あるいは修理した場合の状況を確認した。

(3) 福島県

平成 25 年 2 月 12～14 日の期間に、市町村、施工業者、保守点検業者、補修専門業者の 4 者についてヒアリングを実施した。なお、当該自治体は浄化槽市町村整備事業および浄化槽設置整備事業の双方を実施している。また、補修専門業者は南東北から北関東の広い範囲で業務を行っており、阪神大震災の被災浄化槽の補修経験を有するなど専門性が極めて高い企業である。処理方式や人槽を問わず、被災した浄化槽について、個別の補修工事費については、被害区分毎の最高額を示すこととした。

2.1.7. 減災に有効な施工方法（埋め戻し方法）の検討

(1) 埋戻し土を固化させる方法

埋め戻し土を固化することにより、液状化による浮上や水平狂い等の被害を抑制することができると考えられることから、埋め戻し土の固化方法について検討を行った。

図 2-1-8 にテストピースの形状を示す。このテストピースを作成するため、内径 20mm 高さ 30mm の円筒状の型枠を作成した。テストピースの上下の平面部分の面積は、それぞれ 3.14cm² で、容積は 9.42cm³ である。この型枠を用いて砂を転圧充填し、砂の充填重量の測定を 15 回行った。砂の充填量は平均 14.41g(標準偏差 0.16g ; 1.14%)、見かけ比重は 1.529g/cm³ である。砂の比重は 2.43g/cm³ であったことから、空隙は 3.5cm³(型枠内容積の 37.15%)となった。この結果から、固体状の添加物を混合する場合には添加剤を水に懸濁させたもの 3.5mL をテストピースの空隙に添加した。その後、型枠に充填した状態で自然乾燥させ、経過日数に伴うテストピースの強度を測定した。実験に供した添加剤とその特徴を表 2-1-4 に示す。

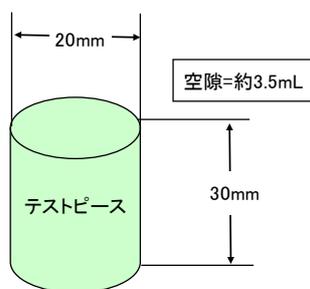


図 2-1-8 テストピースの形状

表 2-1-4 使用した添加剤の概要

対象	主成分	状態	水と接触した際の特徴	特徴
1 日本銀砂(株) 防塵材 DCバインダー	アクリル酸エステル	液体	固化後は水にあまり溶解しない。	10ミクロン単位の微粒子を抱合・結合する。アクリル酸エステルを主成分とした共重合体の樹脂で、硬化後は化学分解し難い素材で、腐食性を持たず、雨による流出もし難い。山等の斜面に植え付けた種子の固定剤としても利用されている。環境にやさしい成分である。土の表面に、水で希釈したこの添加剤を散布すると、土中に浸透し、埃の原因となる10ミクロン単位の微粒子を抱合・結合し、大きな重い粒子にすることによって土埃を立ち難くさせることができる。
2 赤穂化成(株) 防塵剤マグランド	塩化マグネシウム	粒状	固化後も水に再溶解する。	塩化マグネシウムの溶解度は塩化カルシウムより緩やかなため流出量が少なく、散布面に長く残り効果が持続しやすい。安全で環境にやさしい素材である。
3 栗田工業(株) クリコート C-750	合成樹脂	粉末状	固化後は水にあまり溶解しない。	埋立地や造成地の裸地表面に希釈液を散布することで、強固な固結層を形成して飛砂・粉塵・侵食を防止する合成樹脂薬剤で、形成される固結層は、強度・耐候性に優れているため、長期間の飛砂防止が可能である。安全性も十分考慮されており、緑化促進・法面侵食防止・飛砂防止剤として利用されている。ただし、十分乾燥させることが必要であり、形成された固結層は、有害物質を含まず、6~12ヶ月で自然消失する。
4 ポルトランドセメント	ポルトランドセメント	粉末状	固化後は不溶	

強度試験は、以下の手順で実施した。①乾燥砂に所定量の添加剤を加え、磁皿で薬さじを使いよく混ぜた。②テストピースの型枠にこれを充填し、均等に水 3.5mL を浸透させた。③なお、湿潤条件では 7 日間密閉・静置し、自然乾燥条件では 7 日間型枠の上部を開放したまま静置した。④測定時にテストピースを型枠から取り出し、平面部分を計測台に載せ、もう一方の平面部分から荷重し、テストピースが崩壊する(おおよそ 3 分 1 が押しつぶされる)荷重を強度として計測した。なお、添加剤 1 (DC バインダー) は液状であるため、添加剤 2 (マグランド) は粒径が大きいため水に溶解させ、水で希釈・混合したものを 3.5mL 添加して混ぜ、②は略した。添加剤の添加条件は表 2-1-5 に示すとおりである。DC バインダーについては、添加した砂の含水率と崩壊荷重に関する検討を行うため、型枠に充填した砂の空隙に DC バインダーを水で希釈した 10%および 20v%溶液を 3.5mL 含浸させ、上部平面部分を開放したまま静置して自然乾燥させた。その後、1 日、2 日、3 日および 7 日経過したそれぞれのテストピースにおける崩壊荷重と含水率を測定した。

表 2-1-5 添加剤の添加条件

添加条件	DCバインダー 添加率 %	マグランド 水溶液濃度 (g/100mL-水)	クリコート 添加量 (g/100g-砂)	ポルトランドセメント 添加量 (g/100g-砂)
1	0	0	0	0.3
2	10	10	1	0.6
3	20	20	2	1.0
4	50	40	3	2.5
5	100	80	5	5.0

(2) 埋戻し土に砕石を使用する方法

小型浄化槽の躯体材料には FRP とジシクロペンタジエンの 2 種のうちいずれかが用いられている。地震等により躯体に亀裂・破損を生じる事例は FRP 製躯体の浄化槽のほうがジシクロペンタジエンのものより多く、東日本大震災におけるジシクロペンタジエン製躯体の破損事例は極めて少なかった。これは、ジシクロペンタジエンが FRP に比べて弾力性があるため、過大な瞬時荷重が加わった場合に変形あるいは伸長するものの、亀裂は生じ難い物性によるためである。

一方、地震による液状化が生じた際の浄化槽の浮上を抑制する手法として、図 2-1-9 に示すように、液状化し難い大きな粒子径の砕石を埋め戻し土とする方法が有効であると考えられる⁹⁾。これは、下水道のマンホールの設置工事に行われるようになってきている。しかし、砕石による埋め戻しは FRP 製躯体の浄化槽の場合、躯体と砕石の接地部分(極めて狭い点)に集中して圧力が加わることにより亀裂・破損を生じる可能性が高まる。そこで、点で加わる砕石の荷重を分散して躯体に伝えるものとして、圧力緩衝材を用いた場合における圧力の分散効果を検証することを目的とし、浄化槽と埋め戻し土の間に緩衝材(ウレタンフォーム)を入れた場合の躯体に対する圧力の伝播特性を検討した。

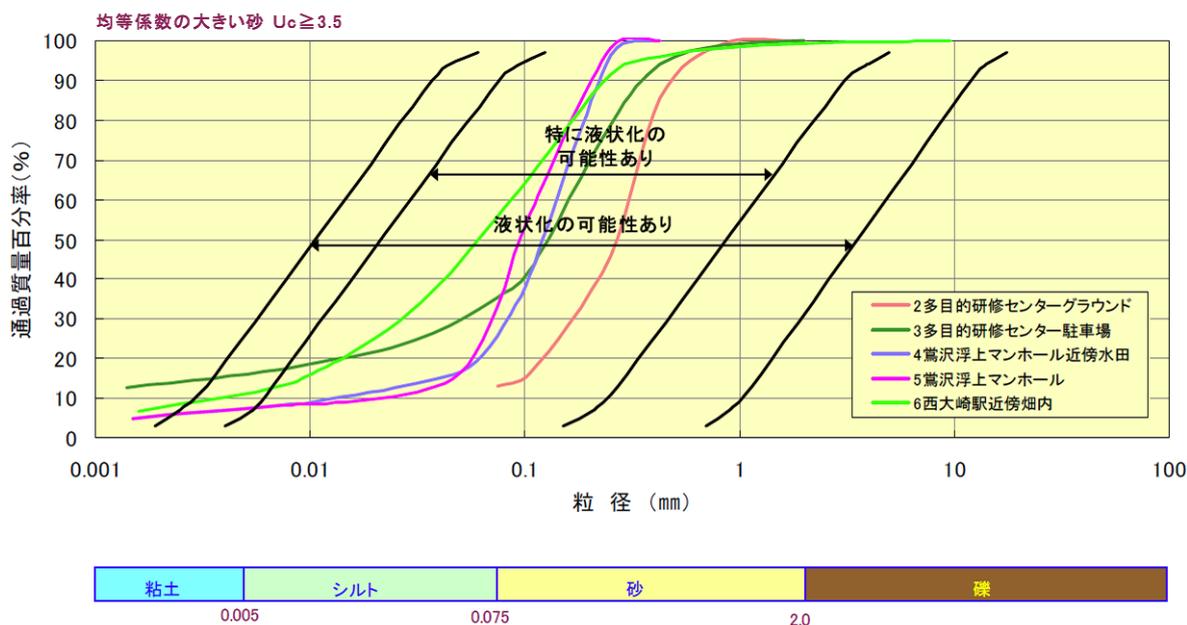


図 2-1-9 噴砂の粒度 (出典：(社) 地盤工学会、平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震調査報告書、158p (2010)⁹⁾)

圧力緩衝材としては、耐久性を考慮して独立気泡構造のウレタンフォームに着目した。これは安価で熱に強く、劣化しに難い特徴を有し、そのうち古川電気工業(株)の「フォームエース」を選定した。フ

フォームエースは、化学架橋ポリエチレンフォームであり、建築分野では断熱材として用いられている他、その衝撃吸収特性からビデオカメラケースなど精密機器の緩衝内装材や、自動車のドアの止水用部材としても用いられている。

1) 実験装置

小型浄化槽設置工事の埋設深とほぼ同等な深さ・幅の実験容器（図 2-1-10）に側方一面に取り外し可能なパネル(可動パネル)を取り付けた。可動パネルの内側には緩衝材で覆った圧力測定シート(フジフィルム(株)製プレスケール LLW および LLLW)を底板から 0～10cm、35～45 cm、80～90 cm、125～135 cm、170～180 cmの高さに図 2-1-11 に図示したように装着した。なお、圧力測定シートは被覆した緩衝材の厚さによって、図 2-1-11 に示した組み合わせで超低压用(LLW)と極超低压用(LLW)を取り付けた。



図 2-1-10 試験容器

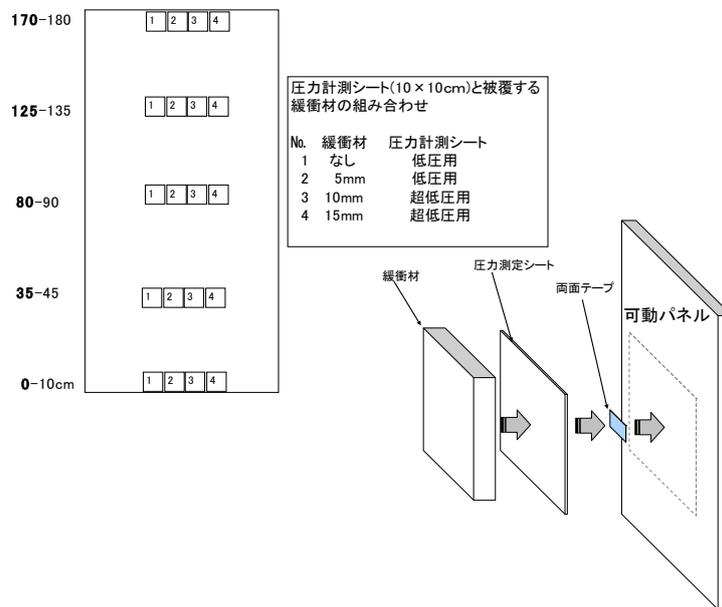


図 2-1-11 緩衝材および圧力測定シートの装着

2) 実験手順

①容器上端まで足踏みによる締め固めを行いながら碎石を充填した。なお、碎石は 40mm 以下で約 20mm のふるいにかけたものを用いた。②所定時間が経過した後、ただちに可動パネルを外し、圧力測定シートを回収した。この際、圧力測定シートの温度・湿度補正を行うために温度、湿度を計測した。③シー

トの発色をスキャナーでPCに取り込み、発色の状況を確認するとともに、測定値読み取り用標準色および圧力換算グラフ(図 2-1-12)と比較することにより圧力分布を測定し、部位の差異による土圧を比較した。

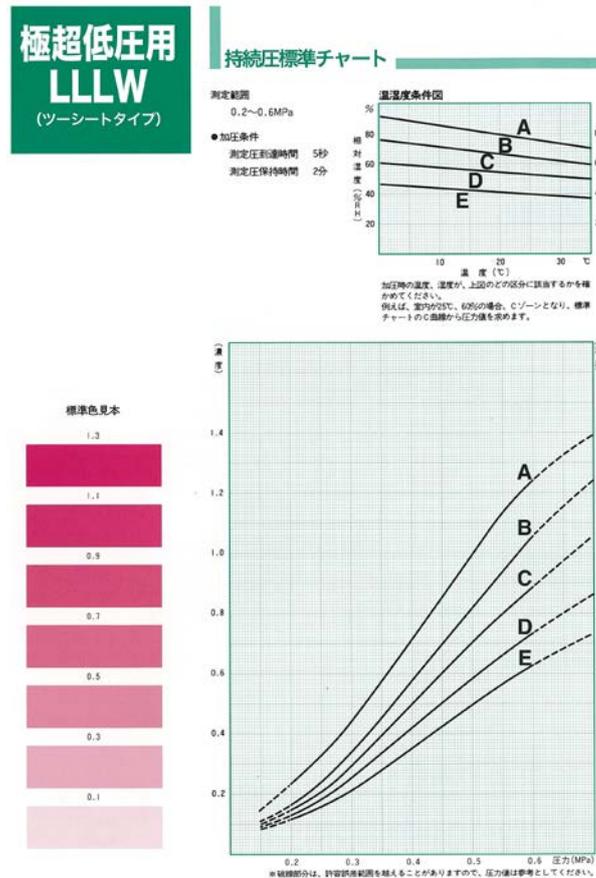


図 2-1-12 圧力測定シートの標準色見本と圧力換算グラフの例(LLW)

2.1.8. 簡易な応急対応方法に関する検討

躯体が破損して漏水を生じている浄化槽の応急的な止水方法について検討することを目的とし、実際に破損した浄化槽を用いてマンホールの上から作業できる有効な手法について検討するため、国内で流通している資材のうち応急対応し易いものを調査し、その適応性について検討した。

(1) 補修材料の選定

浄化槽の躯体が破損し、点検口から目視で破損箇所が確認できた場合に修理作業者の手が入らない場合においても、対象箇所を水洗浄した後、樹脂を吹付けるだけで応急的に止水できるものが望ましいと考え、対応するものの調査を行うとともに、実用試験を行った。

応急修理材の選定条件は、破損箇所の削りだしやプライマー処理等の前処理を行わずに、短時間で硬化し、止水できる樹脂であることとした。

(2) 実験手順

実験は次の手順で行った。

- ① 応急修理対象の浄化槽を実験ヤードに設置した。
- ② 浄化槽内水を抜き取った。
- ③ 災害時にホームセンターでも入手可能な洗浄用具として家庭用高圧洗浄機があると考えられる。またこれであれば、深くあるいは狭い箇所の洗浄にも有効であると考えられることから、これを

- 用いて破損箇所の周囲を洗浄した。
- ④ 破損箇所周囲を乾燥させた(災害時はヘアドライヤーを用いて補修箇所を乾燥させることを想定し、ホットガン(塩化ビニル材加工用)を用いた)。
 - ⑤ 応急修理を行った [(1)樹脂の吹き付けによる応急対応 (2)貼り付け補修シートによる応急対応]。
 - ⑥ 浄化槽に水を入れ、漏水の状況を確認した。

2.2. 避難所等での活用を見据えた自立型浄化槽システムの確立

2.2.1. 自立型浄化槽システムの基本設計

(1) 自立型浄化槽システムの基本設計

避難所等における災害時の衛生環境の確保および生活環境の向上のため、特に、し尿を中心とした排水への対応を念頭に、被災時にも水洗トイレの使用を可能とする自立型浄化槽システムの基本設計を行った。

(2) 避難所等への節水トイレの導入に関する検討

避難所等においては、台所や洗濯、風呂等の使用が限られているため、トイレ由来の水使用量が多いことが予想される。そのため、特に水洗トイレを節水型にすることは、節水効果の増大が期待される。そこで、既往研究等を調査し、節水トイレの導入による節水効果を検証し、得られた結果から、避難所等における原単位について検討を行った。

(3) 冬期間における浄化槽の低水温化と処理水質

浄化槽や下水道といった汚水処理設備は生物処理を基本としているため、浄化槽内水温が低い場合や水温変動がある場合、その処理機能が悪化することがある¹⁰⁾。また、応急仮設住宅に設置された浄化槽は、地上設置である場合も多く、特に保温対策を取らなかった場合、地下埋設より、浄化槽内水温が低くなるという報告がある¹¹⁾。本研究で想定している自立型浄化槽システムでは、浄化槽処理水を水洗トイレ洗浄水(中水)に利活用することを想定しているため、常に、良好な処理水質を得る必要があり、浄化槽内の低水温化や水温変動により、処理水質が悪化してはならないと考えられる。そこで、一般家庭に設置されている浄化槽の浄化槽内水温と処理水質を調査し、低水温期における浄化槽の処理水質について検証した。実験は、宮城県内における一般家庭(大人3名)における浄化槽(嫌気ろ床担体流動方式)の7人槽を対象に、その浄化槽内水温と処理水質を調査した。

2.2.2. 処理水の水洗トイレ洗浄水(中水)への利活用に関する検討

本研究における自立型浄化槽システムでは、その浄化槽処理水を水洗トイレ洗浄水(中水)に利活用することを想定している。排水再利用に関する基準は、建築物衛生法施行規則に定められており、その基準値は表1に示すとおりである。表1で示す排水再利用の基準値において、従来、浄化槽処理水質の指標であり、知見の多いBOD、SS、T-N、T-P、大腸菌群等とは異なり、臭気、外観、大腸菌等が指標とされている。浄化槽処理水に関するこれら臭気、外観、大腸菌等の項目に関する知見は、全般的に不足しているが、特に、大腸菌に関しては、これまで、浄化槽処理水の衛生指標としては、大腸菌群が用いられていたことから、知見が少なく、さらに、その大腸菌数をゼロとしなくてはならず、浄化槽処理水の再利用のためにボトルネックになると考えられた。

そこで、排水再利用のためのボトルネックと考えられた浄化槽処理水中の大腸菌数を調べるために、まず、既設浄化槽の処理水に含まれる大腸菌数を調査することとした。調査は、岩手県内にある浄化槽施設を20箇所ランダムに抽出し、浄化槽の法定検査時に処理水の水質分析用の採水とともに、大腸菌用の採水も実施した。実施時期は、既往研究¹⁰⁾において、処理水質が平均として、最も悪化していた5月と最も良好な11月に実施した。採水した処理水から、処理水質分析の他、大腸菌群数および大腸菌数も合わせて分析した。大腸菌群数と大腸菌数に関しては、それぞれ、Deso法および酵素基質選択培地法(クロモアガーECC)を用いて、分析を実施した。

次に、宮城県と茨城県にある浄化槽施設2施設において、浄化槽の処理水質、大腸菌群数および大腸菌数を、経日変化として調査した。大腸菌群数と大腸菌数に関しては、上記と同様、酵素基質選択培地法(クロモアガーECC)を用いて、分析を実施した。

2.2.3. 避難所仕様浄化槽モデルによる試験

(1) 試験用システムモデル

避難所仕様の自立型浄化槽システムの具体的な設計値を得るため、試験用の浄化槽モデルを構築した。本システムモデルは、以下の4ユニットから構成される。

①スクリーンユニット

スクリーンユニットは、自動微細目スクリーン（目幅 0.5 mm）により、流入水に含まれる生ごみ等の固形物を除去し、スクリーン通過水のみを後段の膜分離ユニットに導入する。これにより、膜分離ユニットのための夾雑物除去の効果も兼ねている。

また、スクリーンにより、生ごみ等の固形物を除去することは、後段の膜分離ユニットにおける固形物貯留負荷を低減することができ、付属の乾燥機により、除去された生ごみ等の固形物を乾燥させ、生ごみの衛生的な処理、減量、長期的な保管を行う。また、この乾燥機として、本研究では、電気エネルギーで駆動するヒーターを用いているが、実際には、コジェネレーションシステムで発生する排熱を想定している。

②膜分離ユニット

膜分離ユニットは、膜分離型浄化槽を用い、災害時におけるトイレ洗浄水（中水）への利活用を見据え、大腸菌ゼロを担保する装置として活用する。膜分離ユニットの仕様・外観は表 2-2-1、図 2-2-1 に示すとおりである。また、低水温対策、災害時における急激な負荷増加に対する処理機能の確保、膜透過流速の低下防止、早期処理水質の確保等を図るために、膜ユニット槽内水を加温する。また、この膜ユニット槽内水の加温には、本研究では、電気エネルギーで駆動するヒーターを用いているが、実際には、コジェネレーションシステムから発生する排熱を想定している。

表 2-2-1 膜分離ユニット（仕様）

分離膜	(株)ユアサメンブレンシステム、MTS3011-58D、細孔径：0.4 μm
運転方法	30 分間欠運転
吸引方法	水頭差（重力式）
サイズ	Φ318mm×H580mm
膜面積	10.9 m ²
透過流速	0.275 m ³ /m ² ・日



図 2-2-1 膜分離ユニット

③活性炭ユニット

活性炭ユニットは、被災時におけるトイレ洗浄水（中水）への利活用のために、処理水の脱色等に利用することを想定している。活性炭ユニットの写真は、図 2-2-2 に示すとおりであり、粒子径 10～32mesh の破碎炭（GL-30S、株式会社ツルミコール製）を用いた。しかし、活性炭は、吸着反応であるため、運転開始後、早期な効果の発揮が期待できるとともに、消耗品となるため、通常時は不使用とする。活性炭ユニットに付属する貯留水槽には、災害時における急激なトイレ用水量の増加に対応する容量が必要である。

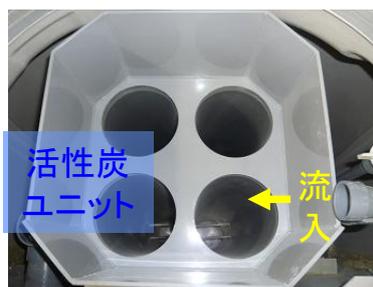


図 2-2-2 活性炭ユニット

④コジェネレーションシステム

上記、①～③に対して、必要な電力エネルギーおよび熱エネルギーを算出し、必要なコジェネレーションシステムに関するシミュレーションを行う。

システム概要を図 2-2-2 に示す。

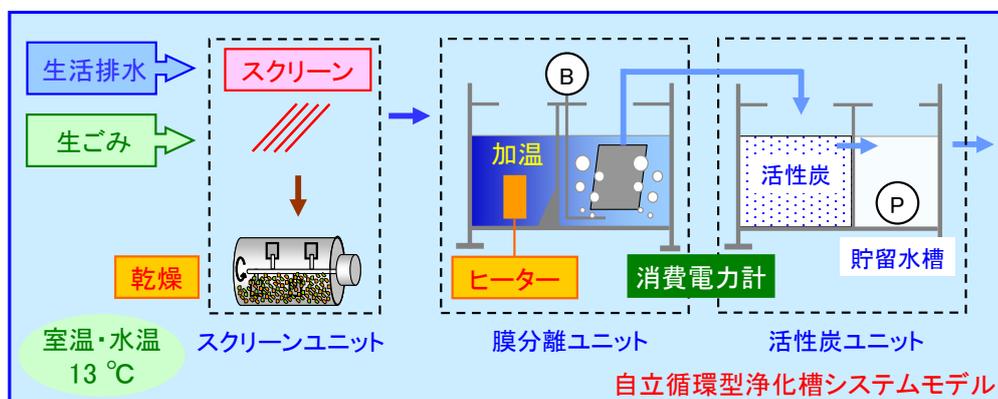


図 2-2-2 自立循環型浄化槽システムモデルの概要

(2) 処理水循環のための処理性能試験

実験は、上記で構築した自立循環型浄化槽システムモデル（膜分離ユニット 3.0 m³、活性炭ユニット（貯留水槽を含む）2.7 m³）を、冬期間を想定した 13 °C 恒温室内に設置し、実生活排水 1.0 m³/日、標準生ごみ 1.25 kg/日¹²⁾を、毎日、導入した。試験期間を通じて、自動微細目スクリーンにより回収した生ごみは、65 °C の乾燥機において、乾燥させることとし、2 週間に 1 回、乾燥生ごみを回収し、その体積および重量を測定した。また、コジェネレーションシステムの活用による排熱利用を想定し、試験途中より、膜分離ユニット内に設置したヒーターを稼働させ、膜分離槽内のみ、順に、20 °C、30 °C、40 °C に加温した。また、上記、試験期間中における各温度での生物活性を調査するために、代表的に、各水温における硝化活性も測定した。硝化活性は、その試験時において、排水の流入、膜分離ユニットからの排出を停止し、バッチ式で実験を行い、NH₄-N の減少速度およびその時の膜分離ユニット内の SS から、算出した。また、試験期間中、定期的に、膜分離ユニット内の汚泥濃度 (MLSS) の測定を行うとともに、試験終了時には、浄化槽内の夾雑物除去槽（汚泥貯留槽）等に貯留されていた汚泥量も調査した。水質分析は、一般水質項目である BOD, SS, T-N, T-P, 大腸菌群の他、排水再利用水質項目である臭気、外観、色度、濁度および大腸菌も同時に分析した。一般水質項目に関しては、JIS K0102 または下水試験方法に準拠して行った。また、臭気、外観、色度、濁度は、下水試験方法に準拠し、大腸菌群数と大腸菌数に関しては、これまでと同様、Deso 法および酵素基質選択培地法（クロモアガー ECC）の他、コリラートを用いて、分析を実施した。

表 2-2-2 標準生ごみの組成（(財) 日本建築センター、ディスポーザによる生ごみリサイクルシステムの開発、(1999)¹²⁾）

組成	湿重量 (g/人・日)
にんじん	45
キャベツ	45
バナナの皮	25
リンゴ	25
グレープフルーツの皮	25
鳥のモモの骨または手羽もとの骨	20

鱈の開き（干物）	25
卵殻	5
米飯	25
茶殻	10

(3) ディスポーザ導入効果に関する検討

震災時においては、生ごみ回収車（パッカー車）の遅れも指摘されており、食料供給に伴い残飯等生ごみが発生した場合には、それら生ごみを長期的・衛生的に保管する必要がある。さらに、避難所等においては、上述したとおり、台所や洗濯、風呂等の使用が限られているために、トイレ由来の排水が多いことが想定されるため、ディスポーザ等を用いた浄化槽への生ごみの導入は、C/N比を整え、排水処理を良好に機能させるために有効であると考えられる。そのため、避難所等において、ディスポーザ等を用いた浄化槽への生ごみの導入は、生ごみの長期的・衛生的保管と排水処理機能維持の両面で有効であると考えられる。また、ディスポーザによる生ごみ破砕物を、直接、浄化槽に導入すると、浄化槽への生ごみ等固形物負荷が増加し、汚泥貯留機能に影響を及ぼすことが考えられた。そこで、生ごみ等固形物をディスポーザで破砕した後、スクリーンで回収することとし、回収した破砕物は乾燥機へ、スクリーンを通過した排水は浄化槽に導入することとした。

実験は、標準生ごみを用い、その標準生ごみ 250 g を 5 L の流水とともに、ディスポーザで破砕した。ここで示した標準生ごみの組成、重量、流量等は、「ディスポーザによる生ごみリサイクルシステムの開発」により、1 人/日用として設定されているものである¹²⁾。その後、破砕したディスポーザ排水を回収し、それを自動微細目スクリーン（目幅 0.5 mm）を通過させることにより、その通過した排水の水質（BOD, SS, T-N, T-P）を分析し、流入水とスクリーン通過水の水質から、生ごみ除去効果を算定した。

次に、同様な方法で、トイレトーパー3 g を 5 L の流水とともに、ディスポーザで破砕した。その後、破砕したトイレトーパー排水を回収し、それを自動微細目スクリーン（目幅 0.5 mm）を通過させることにより、そのスクリーンを通過した排水の水質（SS）を分析し、流入水とスクリーン通過水の水質から、トイレトーパー除去効果を算定した。

(4) 自立循環型浄化槽システムモデルの電気・熱エネルギー使用量

本研究で実験に供した自立循環型浄化槽システムモデルの通常時（13℃）における浄化槽に係る電気エネルギー使用量および生ごみ乾燥機に係る熱エネルギー使用量を調査し、コジェネレーションシステムの適用について、検討を行った。また、コジェネレーションシステムは熱電併給装置であることから、その余剰熱の利用方法として、浄化槽槽内水を加温した際の熱エネルギー使用量について検証を行った。

2.3. GIS による情報把握システムと災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築

2.3.1. 浄化槽被害情報調査システムの構築

浄化槽等関連施設等の地理情報と機能情報をデジタルマッピング（地図上で可視化）し、状況をひと目で把握可能なシステム構築を検討した。具体的には、GIS による浄化槽設置情報・被害状況の把握のための GIS 浄化槽台帳への被災情報ルーチンの組み込み、被災情報のモバイル入力フォーマットの検討、情報端末モバイルの作り込みを行い、浄化槽台帳による情報集約化を目指し、浄化槽被害情報調査システムの構築を検討した。

2.3.2. 地域に即した平常時・被災時の輸送モデルの構築

通常、発生したし尿・汚泥は、し尿処理施設へ車両で輸送されて適正処理されるが、災害によって当該施設が停止した場合は、他の施設での処理を要請し、輸送することとなる。その場合においても、圏内の各施設で受け入れられる量には制約があるため、他県の施設へ移送する必要性も想定される¹³⁾。そのような広域的輸送に際しては、効率的にし尿・汚泥を運搬するために、小型車両による個別収集と大型車両への積み替え・二次輸送という中継輸送が有効になると考えられる¹⁴⁾。このような災害時の対応については、平時において、想像力を最大限に働かせ、適切な災害時の協力協定などを進めておくこと

が重要である。研究の観点からも、災害研究¹⁵⁾として被災前にシミュレーション用のモデルの作成を済ませ、平時より具体的な検討を重ねておくことである。

そこで、今後の防災・減災に寄与すべく、平常時の輸送効率化を図れるとともに、災害時にはし尿・汚泥の輸送・処理を滞りなく進めるための輸送計画について、中長期的および短期的の両視点から、広域輸送とその最適化について検討した。すなわち、輸送効率性 ton・km の最小化を目的とした最適輸送計画問題を解き、地域に即した輸送モデルを構築することにより、災害時の輸送効率を最小化した輸送計画を作成し、不足する輸送能力（収集輸送車台数）や域外に搬出する量を算定可能なシステム基盤の構築を検討した。

(1) 最適輸送計画問題

各市町村から排出されたし尿・汚泥を各処理施設へ効率的に輸送するため、線形計画法（LP：Linear Programming）を用いて輸送効率性 ton・km の最小化を目的とした最適輸送計画問題を解くこととした。また、中継基地の利用による広域的輸送計画モデルの提案については、混合整数計画法（MILP：Mixed Integer Linear Programming）によるモデル（以下、MILP モデルと定義する）を考案し、輸送費用および施設整備費用からなる総費用の最小化と、中継基地の配置箇所・必要容量の決定を目的とした広域的輸送計画について検討した。

(2) ネットワークモデル

対象としたモデル地域は、沿岸地域を有する I 県とした。この地域は 33 の市町村から構成され、総面積は約 15,200 km²、総人口は 130 万人程度の規模を有している。また、対象地域の東側は海に面しており、西側は他県と接している。現行の処理体制は、県内 13 箇所の施設（施設 A から M）でし尿および浄化槽汚泥を処理しているが、広域的処理が実施される場合には、隣接する県に整備された 9 箇所の施設（施設 N から V）も候補とした。

(3) シナリオ設定

中長期的な視点から震災に備えた施設規模の在り方に関する検討を行うため、以下に述べる処理シナリオを設定した。なお、本稿では、既存の処理能力と多目的貯留槽の容量を合わせたものを「施設規模」と定義した上で、多目的貯留槽を整備すべき候補施設の把握を試みる。

震災の想定被害は、内陸部の県内施設 A が液状化によって処理停止に陥るものとし、さらに津波による被害を考慮し、県内に整備された施設のうち沿岸部に位置する施設 B、G、J、M が処理停止に陥った状況を想定した。

本稿で設定した災害時の処理シナリオを表 2-3-1 に示す。震災前の状況を仮定した caseA-1 では、県内の稼働 13 施設のみで処理するものとし、全稼働施設に多目的貯留槽を設置できることを条件とした。震災後の想定として、caseA-2 から caseA-4 の 3 ケースを設定した。caseA-2 では、県外との協力処理は行わず、県内の稼働 8 施設のみで処理し、全稼働施設において多目的貯留槽が整備されている状況を設定した。caseA-3 では、県内の稼働 8 施設および県外 9 施設での協力処理をし、県内の全稼働施設は多目的貯留槽が整備され、県外施設は当該施設の処理規模から現状の処理量を差し引いた余裕量分のみを受け入れる状況を想定した。caseA-4 では、県内の 8 施設および県外 9 施設における協力処理を実施し、県内および県外の全稼働施設に多目的貯留槽が整備されている状況を想定した。なお、多目的貯留槽を設置した場合の施設許容量は、モデル地域の全発生量を受け入れられる十分な量を与えるものとし、輸送効率の向上を図る上で理想とされる施設規模を見出すこととした。

表 2-3-1 設定した災害時の処理シナリオ

		県内施設		県外施設
		県西部(8施設)	県東部(5施設)	
震災前	caseA-1	○	○	/
	caseA-2	○	×	
震災後	caseA-3	○	×	△
	caseA-4	○	×	○

※○:多目的貯留槽, △:余裕量分のみ受入れ, ×:施設機能停止

2.4. 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価

2.4.1. 汚水処理施設整備に関する東日本大震災の影響

公共下水道や農業集落排水施設のような集合処理施設の整備区域内の人口動態に及ぼす東日本大震災の影響を明らかにすることを目的として、震災前後の被災 3 県における住民基本台帳人口、各種汚水処理施設の利用者(処理人口)数について、市町村毎の変化を調査した。

被災 3 県では、被災直後の平成 22 年度末の汚水処理人口普及率は調査不能で未集計であるため、震災前の各種人口の動態については、平成 17 年度末から平成 21 年度末の 4 年間に於ける年平均増減数と年平均増減率を、市町村ごとに算出することとした。一方、震災後の各種人口の動態については、平成 21 年度末から平成 23 年度末の 2 年間に於ける年平均増減数と年平均増減率を、市町村ごとに算出した。

各期間における年平均増減数と年平均増減率は、下式より求めた。

$$\begin{aligned} \text{年平均増減数} &= (B - A) / n \\ \text{年平均増減率} &= [(B / A)^n - 1] \times 100 \end{aligned}$$

ただし、A：震災前は平成 17 年度末の値、震災後は平成 21 年度末の値
 B：震災前は平成 21 年度末の値、震災後は平成 23 年度末の値
 n：震災前は 4、震災後は 2

年平均増減数(率)を求めた各種人口とは、住民基本台帳人口、各種汚水処理施設の処理人口の合計値(以後、汚水処理人口と表す。)、下水道整備区域内人口(以後、下水処理人口と表す。)、農業集落排水施設等整備区域内人口(以後、集落排水等処理人口と表す。)、浄化槽設置済み人口(以後、浄化槽処理人口と表す。)、およびコミュニティ・プラント整備区域内人口(以後、コミプラ処理人口と表す。)である。市町村ごとのそれぞれ値は各年度の「汚水処理人口普及率」より引用した。

なお、復興庁の発表によると、全国の避難者等の数は平成 24 年 6 月頃の 34.7 万人をピークに減少傾向にあり、平成 25 年 2 月 7 日現在、全国で約 31.5 万人となっている。岩手県、宮城県および福島県内で住宅等(公設、仮設、民間、病院含む)に入居している者の数は、それぞれ 40,270 人、108,599 人および 97,022 人で合計約 24.6 万人である。自県外に避難等している者の数は福島県から 57,135 人、宮城県から 7,981 人、岩手県から 1,627 人の計 66,743 人である¹⁶⁾。平成 26 年 3 月 13 日現在でも、岩手県で 34,144 人、宮城県で 87,478 人、福島県で 84,221 人の合計で約 20.5 万人に上り、8 割以上の方が引き続き避難生活を余儀なくされている¹⁷⁾。これら避難者は、住民基本台帳上の住所の変更がない限り、避難元の市町村の住民として取り扱われている。

なお、調査不能でデータの無い市町村があるため、岩手県については、陸前高田市と大槌町の 2 市町村を除く 31 市町村、福島県については相馬市や原発周辺区域の 11 市町村を除く 48 市町村を対象とした。また、避難者は、住民基本台帳上の住所の変更がない限り、避難元の市町村の住民として取り扱われている。

2.4.2. 災害時の復旧・復興を考慮した評価指標の検討

東日本大震災の教訓として学ぶべき点のひとつとして、汚水処理施設整備の評価に災害対応という観点を取り入れることが挙げられる。そこで、東日本大震災の被害状況解析等を元に、被災時のトイレ使用、病原性微生物、将来の被災時の復旧コスト・速度、環境負荷、事業性等の評価指標を議論・整理した。ここでは、特に①長期の事業性、②将来の被災時の復旧コスト・速度、③公衆衛生・環境負荷に着目して議論・整理した。

(1) 長期の事業性

震災後、地域によっては大きな人口動態の変化が見られた。また、同一自治体であっても、津波被害や地盤沈下による浸水等の影響から、高台移転の計画も進められていることなどを踏まえ、汚水処理施設整備の長期的な事業性について考察を行った。

(2) 将来の被災時の復旧コスト・速度

インフラ整備の費用対効果を考える際、通常であれば、建設時の膨大なコストを使用年数で割り戻して考えるが、東日本大震災における甚大な被災状況を鑑みると、災害発生時の復旧コストについても考慮しておく必要があると考えられる。特に、大規模集中型の施設の場合、災害復旧には大変な費用と時間が必要となることから、被害が限定的で個々の復旧も迅速に対応可能な分散型の浄化槽による整備について、適切に評価しておくことが重要という考え方から、下水道災害査定等を参考に、費用対効果について考察した。

(3) 公衆衛生・環境負荷

被災時の公衆衛生、環境負荷については、正確なデータは得られないものの、浄化槽については法定検査結果、下水道については公表資料を元に、その影響度合いを考察した。

3. 結果と考察

3.1. 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立

3.1.1. 浄化槽の構造別の被害の詳細解析

災害対応型の浄化槽の構造を検討するため、東日本大震災における浄化槽の被害状況について詳細解析を行った。環境省の平成23年度東日本大震災浄化槽被害状況調査にある1,151施設のうち、津波による浸水がなかった施設でそれぞれの型式ごとに10施設以上調査された型式を抽出したところ、22型式、684施設であり、これらの型式は大きく3つの分類に整理できた。調査浄化槽数を表3-1-1、浄化槽の概要を表3-1-2、3に示す。また併せて、図3-1-1～3に型式ごとの被害の割合を、図3-1-4に被害状況ごとの異常が生じていた浄化槽の割合を示す。

表-3-1-1 調査数

型式	施設数(施設)
1	66
2	14
3	30
4	113
5	52
6	14
7	13
8	13
9	27
10	64
11	60
12	33
13	32
14	11
15	31
16	21
17	13
18	12
19	20
20	14
21	21
22	10

表-3-1-2 調査浄化槽の概要1

型式	概要
1～5	処理水のBOD、T-N、SSが10mg/L以下で、槽の容積が嫌気ろ床接触ばっ気方式と同程度（高度処理型）
6～14	槽の容積が嫌気ろ床接触ばっ気方式の7割程度（コンパクト型）
15～22	嫌気ろ床接触ばっ気方式

表-3-1-3 調査施設の概要2

型式	流量調整部(ピークカット部)	
1	嫌気ろ床槽第1室・第2室	高度処理型
2	嫌気ろ床槽第1室・第2室	高度処理型
3	嫌気ろ床槽第1室・第2室	高度処理型
4	嫌気ろ床槽第1室・第2室	高度処理型
5	嫌気ろ床槽第1室	高度処理型
6	嫌気ろ床槽第1室・第2室	コンパクト型
7	嫌気ろ床槽第1室・第2室	コンパクト型
8	嫌気ろ床槽第1室・第2室(主に第1室)	コンパクト型
9	1次処理全体(ピークカット機能)	コンパクト型

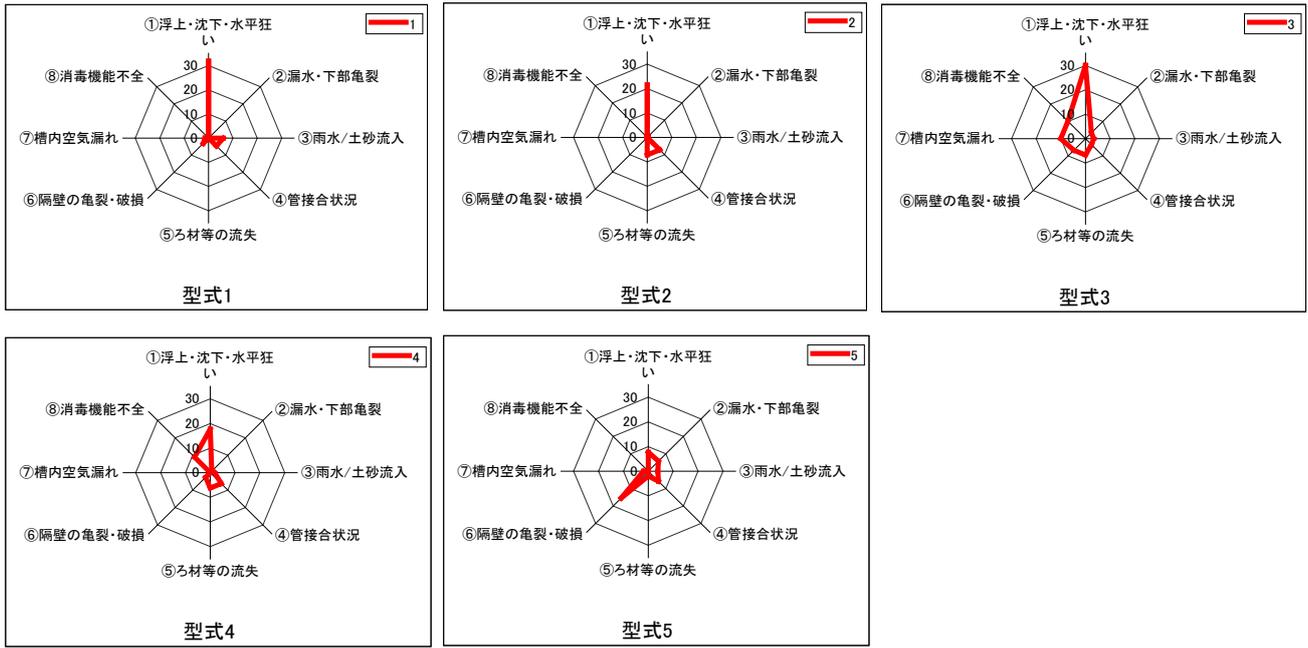


図 3-1-1 高度処理型浄化槽の被害の割合

コンパクト型

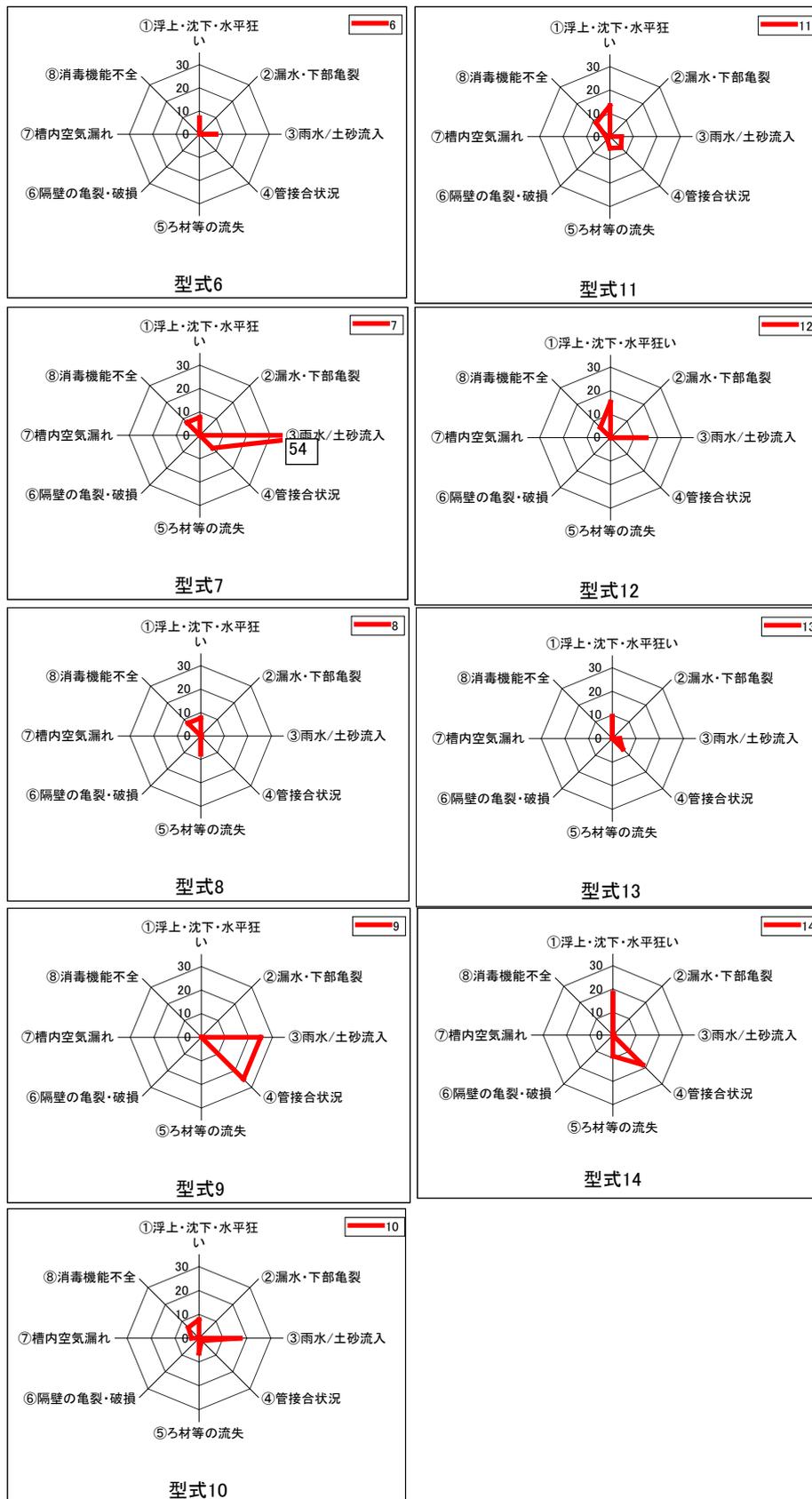


図 3-1-2 コンパクト型浄化槽の被害の割合

構造基準型(嫌気ろ床接触ばっ気方式)

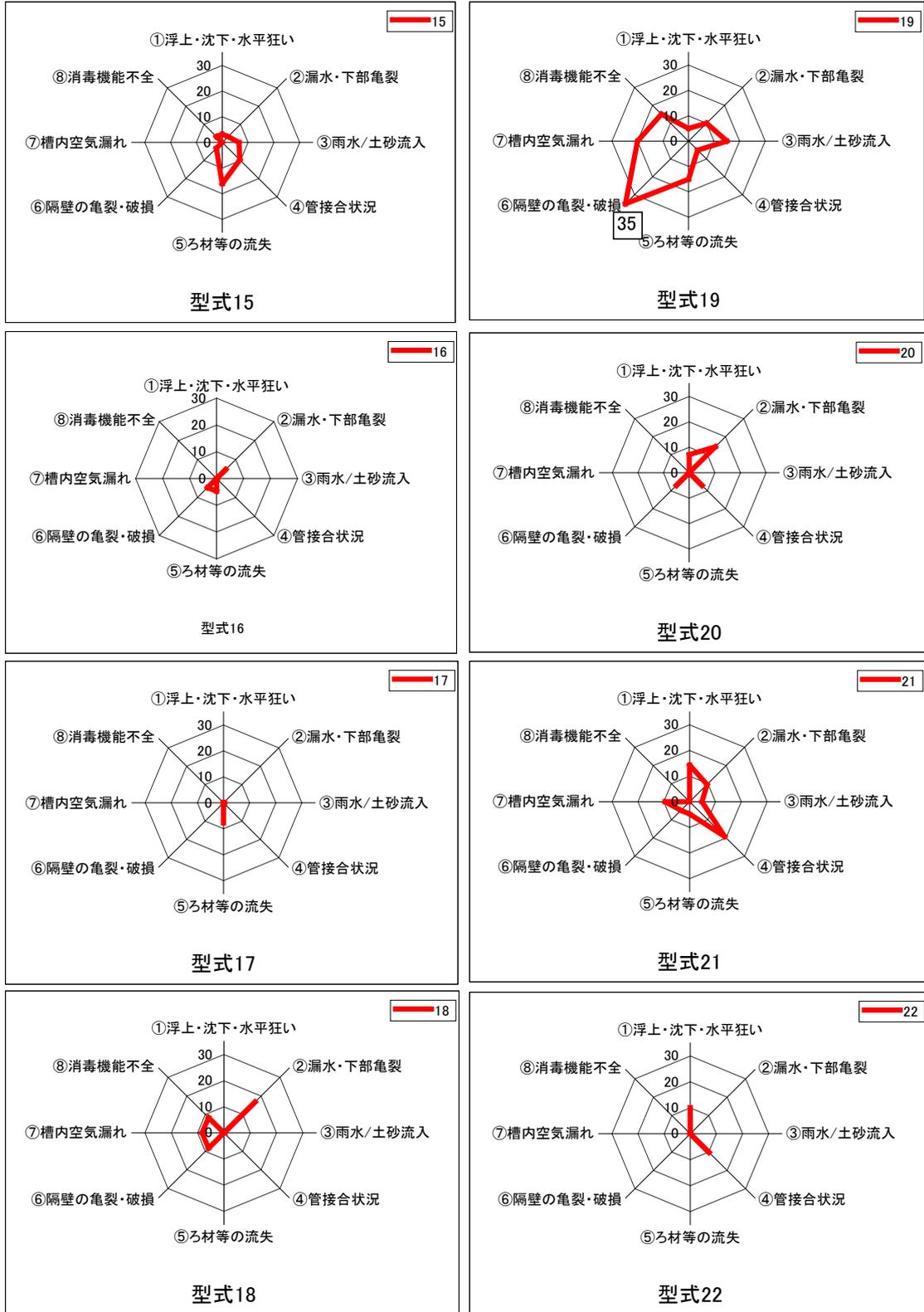


図 3-1-3 構造基準型(嫌気ろ床接触ばっ気方式)浄化槽の被害の割合

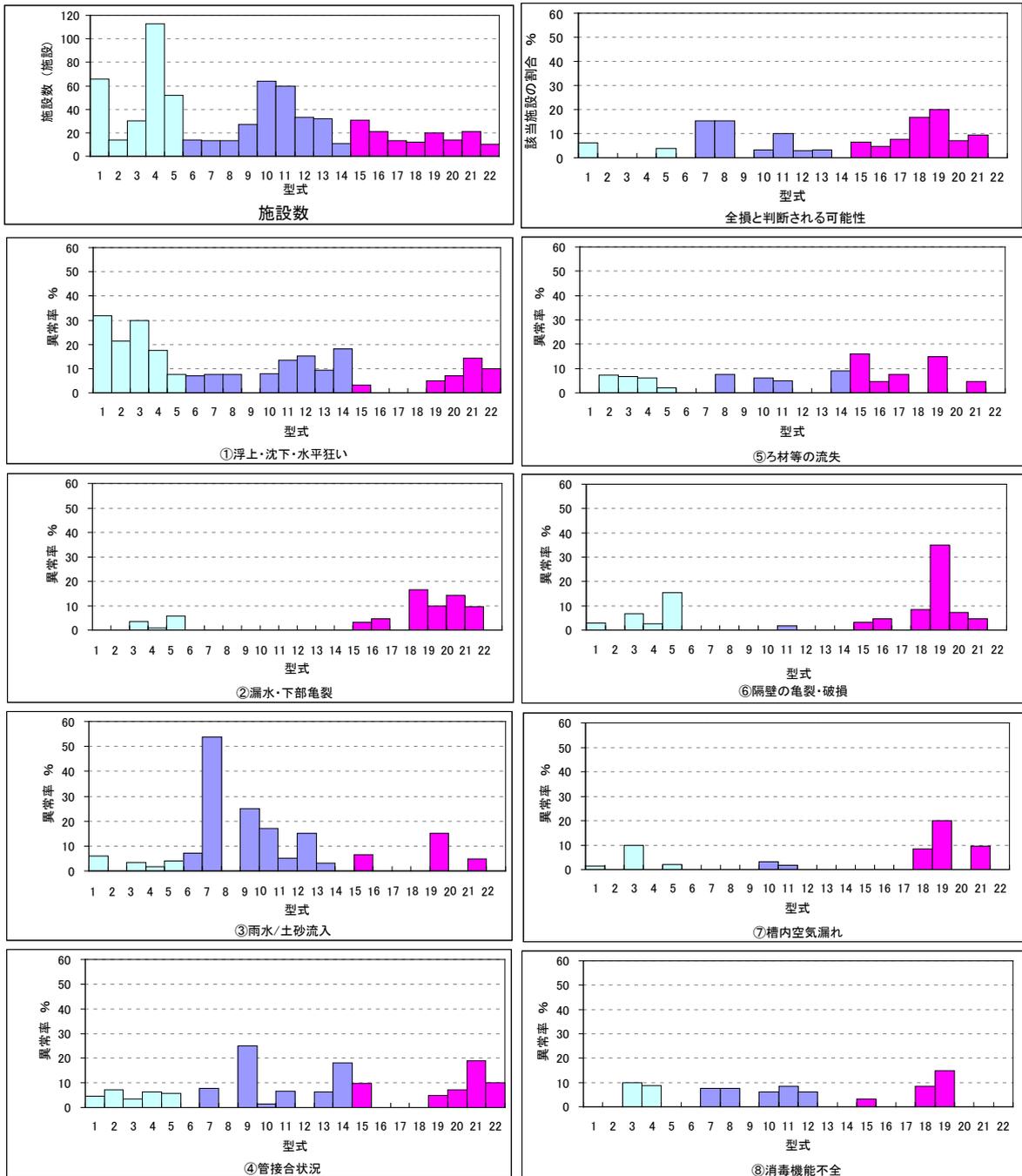


図 3-1-4 各型式で生じた異常な現象の割合

詳細解析の結果、地震による被害は型式により異なる特徴が示された。例えば、高度処理型は型式 5 を除き、他の型式より「①浮上・沈下・水平の狂い」の割合が高い傾向が示された（図 3-1-1）。これらのほとんどは浄化槽の浮上により生じたものであった。これらの型式はいずれも嫌気ろ床槽第 1 室および第 2 室の上部が流量調整部となっており、地震発生時の 3 時ごろには槽内水位が低水位であったと想定されることから、地盤に比べて浄化槽の浮力が高くなった可能性が考えられた。コンパクト型のなかで流量調整部を有する型式 6~9 (型式 9 はより容量の小さいピークカット部) は、いずれも「①浮上・沈

下・水平の狂い」の割合は高度処理型よりも低い傾向が示された。高度処理型である型式5およびコンパクト型である施設6～8に共通している構造は、流量調整部の水面積が型式1～4よりも狭いことであり、このような構造が浮上・沈下・水平狂いの要因となり得ることが示唆された。型式9においては消毒槽を除く他の単装置の水位は同一となる構造である。以上のことから、地震による横方向のゆれが生じた際に、揺れる水面積が広く、かつ槽の一部のみが揺れる場合に、浄化槽の重心が大きく変化しやすくなり、槽底部に液状化した土砂が侵入し、浄化槽を上方へ押し出すものと推測された。

型式13は、同一メーカーの旧型式(型式10)のマイナーチェンジ版であり、型式10で用いられている担体の仕様を変更した程度のおおむね同様な構造の型式である。型式13は①浮上・沈下・水平狂いが10%弱であったが、型式10はこれに加え、⑤ろ材等の流失、⑦槽内空気漏れおよび⑧消毒機能不全が7%であり、③雨水/土砂流入が20%弱と最も高い被害率であった。このことは、それぞれの型式が設置された地盤や地震で受けたエネルギーが異なることも一因といえるが、設置が古い型式10では内部設備の老朽化が被害に影響していることも可能性として考えられた。

また、③および④を除けば、全体的にコンパクト型の方が被害率が低かった。③および④が高かった型式(型式7、9、14)は、いずれも躯体の材質がジシクロペンタジエン(メトン)製である。この材料(樹脂)はFRPと比較して柔軟性が高いことから、管きよと浄化槽の接続部等が地盤が変位した際に変形しやすく、接続部のフランジと躯体に隙間を生じる、あるいはその隙間から土砂が混入していた可能性が考えられた。

このように、高度処理型、コンパクト型および嫌気ろ床接触ばっ気方式とも、躯体および内部設備の破損(②～⑧)の割合が型式により異なっていたのは、それぞれの構造、部材の材質・強度および装置の組み立て(製造)方法により、破損した部分の強度が異なっていたものと考えられる。従って、減災を考慮すると、浮上・水平の狂いが生じ難い流量調整部の設定方法の検討および地震によるエネルギーを考慮した躯体・内部の検討が必要であるものと考えられた。

3.1.2. 浄化槽埋め戻し土に関する締固め実験

実験に用いた試料の粒度分布を測定した結果を図3-1-5に示す。砂利では、粒径2.0～4.75mmのものが61.6%と最も多く、4.75mm以上のものが37.2%であり、計98.8%が粒径2.0mm以上であった。一方、砂の粒径は0.075～0.297mmのものが35.0%と最も多く、その他、1mm以上のものが19.4%、0.425～0.850mmのものが27.3%であり、これらで全体の81.7%であった。このような試料を用いて、浄化槽を埋め戻す際の水締め・締固めの効果について実験を行った。その結果を図3-1-6に示す。各RUNの条件は研究方法(表2-1-1)に示した通りである。ここで、埋め戻し土を充填した結果として、空隙率の小さい方法がより締め固め状態が良いと判断した。

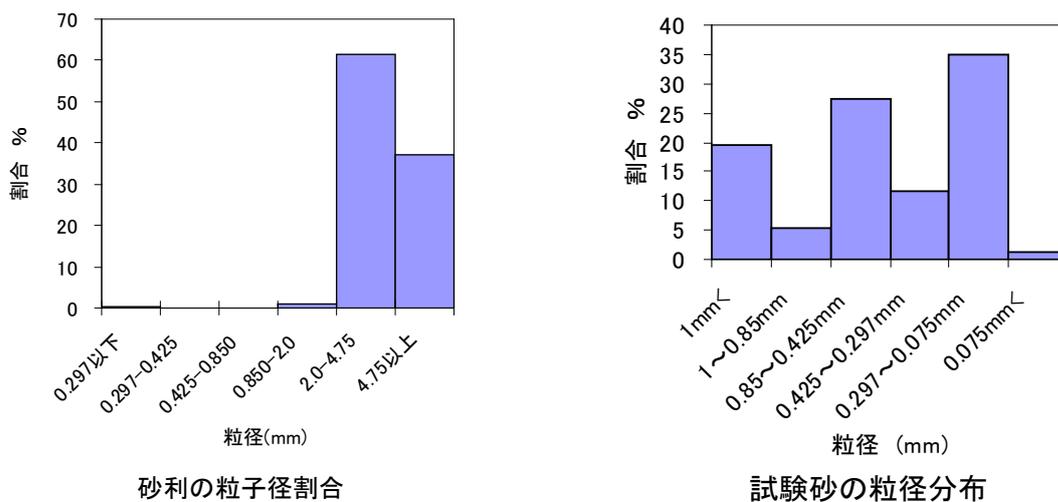


図3-1-5 試験に用いた砂利および砂の粒径分布

乾燥砂利を用いた試験では、単に充填した場合(RUN1)の充填量は1,480gであり、その空隙率は42.3%

であった。また、砂利を充填した後、水を投入した際にもみかけ容積に変化は認められなかった。突き固めを行ったRUN2および水締め・突き固めを行ったRUN3における空隙率は37.8%および38.5%であり、いずれもRUN1に比べ空隙率が4%程度低い値を示した。すなわち、砂利による埋め戻しでは、水締めの効果はほとんど認められず、締固めを行いながら埋め戻す場合が、最も低い空隙率となり、この方法により浄化槽の構造が複雑な部分にまで砂が充填できれば効果的であるものと考えられた。

砂を用いた場合、RUN4における充填量は1,500gであり、その空隙率は38.3%であった。水を投入した際には、砂の見かけ容積が5%程度減少した。RUN5およびRUN6における空隙率は33.2%および30.3%であり、締固めを行うほど空隙率が低下する傾向が認められた。このように、砂による埋め戻しでは、水締めの効果はほとんど認められないことから、締固めを行いながら埋め戻すことが効果的であるものと考えられた。

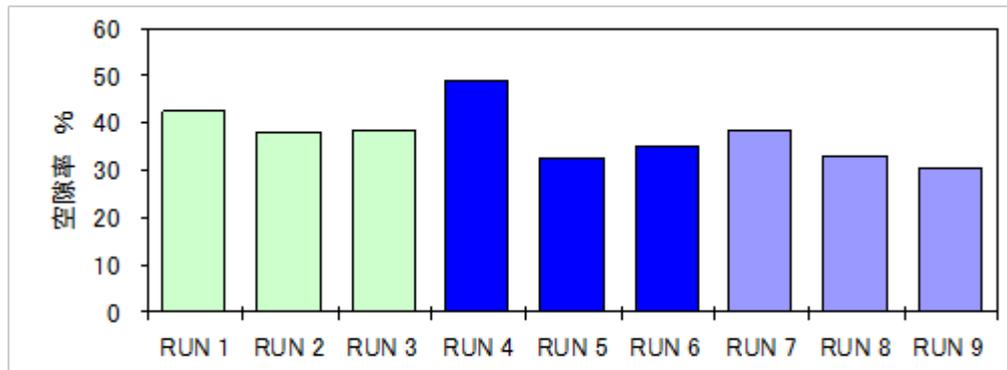


図 3-1-6 各種充填方法における空隙率

3.1.3. 浄化槽の躯体形状による影響

地震による浄化槽の浮上および破損のメカニズムを解明するため、液状化が生じた場合の槽の浮上に関する基礎的知見を得ることを目的として、浄化槽の設置条件をミニモデルで再現し、振幅器により地盤に振動を与えることにより、ミニモデルの浄化槽の挙動を解析した。

モデル槽が浮上を始める振幅数（サイクル）と平均振幅速度を表 3-1-4 に示す。立方体形状のモデル槽 1 および逆三角錐形状のモデル槽 2 は平均振幅速度が 20cm/秒程度でモデル槽が揺れはじめるとともに浮上が生じた。一方、三角錐形状のモデル槽 3 は同程度の振幅速度では浮上せず、モデル槽 1 および 2 に比べ 25%程度高い振幅速度においても浮上し難い傾向が示された。また、モデル槽 1 にリブを設けたモデル槽 4 の場合は、平均振幅速度 28.8cm/秒でモデル槽が揺れ始めるとともにゆっくり浮上した。

表 3-1-4 躯体形状と浮上時のサイクル・平均振幅速度

モデル槽	サイクル (回/秒)	平均振幅速度 (cm/秒)	浮上時の状況
1	2.50	20.0	モデル槽が僅かに揺れ浮上も僅かに認められる。
2	2.63	21.1	モデル槽が僅かに揺れ始め浮上。
3	3.31	25.0	モデル槽の水平移動が認められ、やがて揺れ始め、かなりゆっくり浮上。
4 (1 にリブを付けたもの)	3.57	28.6	モデル槽の水平移動が認められ、やがて揺れ始め、かなりゆっくり浮上。

このような浮上時の状況から、槽の浮上は、槽が揺れて傾くことにより砂がモデル槽の底板の下に入り込み、槽を持ち上げる方向に力が働くことが大きな要因となっているものと考えられた。すなわち、モデル槽 3 は重心が最も低いために振幅により槽内水が揺れても浮上しづらく、立方体形状にリブを設けたモデル槽 4 では、リブが抵抗となることでモデル槽が揺れ難く、かつ浮上する抵抗となっていたもの

のと考えられる。

以上のことから、浄化槽の外形は、振幅により地盤が液状化しても、重心を低く保つことができる形状および砂と槽との間に抵抗があるほど浮上し難いものと考えられた。

ここで、埋め戻し方法が槽の浮上に及ぼす影響について同様の実験を行った結果を表 3-1-5 に示す。水締めと締固めを行った場合は、水締め・締固めを行わなかった場合に比べ、50%程度早い振幅に対しても浮上し難いことが明らかとなった。これは、リブを設けた場合よりも浮上防止に有効であった。東日本大震災時には、同一地区において浮上を生じた浄化槽と生じなかったものがあった。仮に浮上を生じた浄化槽では十分に締固めを行った工事が行われていなかったと仮定すると、現在の浄化槽の形状でも、工事の適正化により、地震によって浮上して使用不能となる浄化槽の割合は低減できるものと考えられる。

表 3-1-5 埋め戻し方法の違いと浮上時のサイクル・平均振幅速度

Run	埋め戻し方法	サイクル (回/秒)	平均振幅速度 (cm/秒)	浮上時の状況
1	水締め・突き固め 無し	2.50	20.0	躯体が僅かに揺れ、浮上も僅かに認められる。
2	砂を入れた後に水 締め・突き固め	3.57	28.6	躯体の水平移動が認められ、やがて揺れ始め、かなりゆっくり浮上。
3	砂入れ 3cm 毎に水 締め・突き固め	3.95	31.6	地盤 1cm 程度低下、ゆっくり浮上。

同様に、浄化槽の底板の形状が槽の浮上に及ぼす影響についての試験結果を表 3-1-6 に示す。モデル槽が浮上を始める振幅数（サイクル）と平均振幅速度を表 3-4 に示す。底板を凹凸構造（Run2、3）とした場合は、開口の向きに関係なく、凹凸のない Run1 よりも低い振幅速度で浮上することが明らかとなった。

なお、凹凸を振幅方向に対し 0 度（流れに対し開口部を設けた）とした RUN2 の方が、凹凸を振幅方向に対し 90 度（流れに対し開口部がない）とした RUN3 よりも、高い振幅速度でも浮上し難い傾向を示した。このことから、浄化槽の底板は浄化槽の基礎との間に隙間が生じないような構造あるいは施工とする方が、液状化した場合における浮上防止に有効であると考えられる。

表 3-1-6 浄化槽底板の形状と浮上時のサイクル・平均振幅速度

Run	浄化槽底板の形状	サイクル (回/秒)	平均振幅速度 (cm/秒)	浮上時の状況
1	平滑	3.95	31.6	モデル槽が僅かに揺れ、浮上も僅かに認められる。
2	凹凸を振幅方向に対して 0 度（流れに対して開口）	2.78	22.2	表面に水が浮き、ゆっくり浮上。
3	凹凸を振幅方向に対して 90 度（流れに対して閉口）	2.21	17.6	表面に水が浮き、ゆっくり浮上。

3.1.4. 地震の際の槽内水のフラッシング

定性的な実験として浄化槽の模型に所定の水位まで水を張り、振幅させた（図 3-1-7）。平面積が広く、ろ材あるいは接触材等の充填物が充填（固定）されていない部分ほど振幅による波（水の移動）が大きくなる傾向が認められた。大きな波は槽の安定に影響し、結果的に槽の浮上のしやすさに影響するほか、仕切り板、躯体および内部設備を破損させる要因となるものと考えられることから、地震発生時における槽内水の揺動を軽減させる、あるいは破損しない強度を考慮した装置の設計をすることが望ましいものと考えられる。



図 3-1-7 浄化槽のミニモデル(嫌気ろ床生物ろ過方式)による振幅実験の様子

3.1.5. 地震による浄化槽に対する土圧および間隙水圧に関する実験

水平振幅の際に地盤が浄化槽に及ぼす影響を明らかにするため、大きさの異なる3つの地盤槽を用い、圧力センサによって土圧特性を解析した結果を以下に示す。

(1) 振幅時の土圧および間隙水圧の変化

振幅が地盤槽下部側面に及ぼす圧力変化の例として、地盤槽2 (WHD : 230×300×100 mm) を用い、砂と水で深埋めし、平均振幅速度 15.9cm/秒(振幅数 2回/秒)の場合における土圧および間隙水圧を図 3-1-8 に示す。なお、図中および以下に示す「横から土圧」は水平方向への土圧、「下から土圧」は上方向に対する、「横から間隙水圧」は水平方向への間隙水圧、「下から間隙水圧」は上方向に対する間隙水圧を示す。

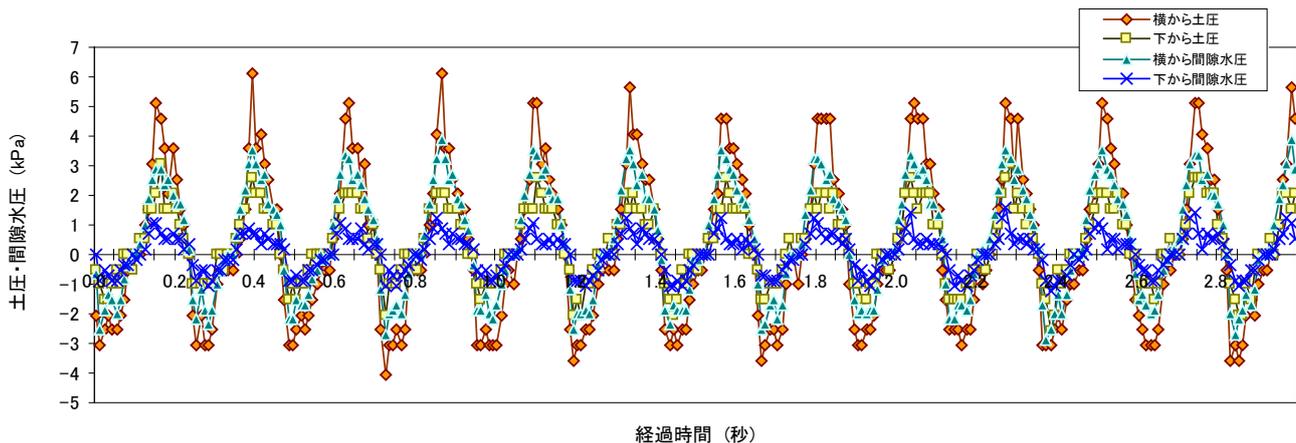


図 3-1-8 土圧・間隙水圧の変化例

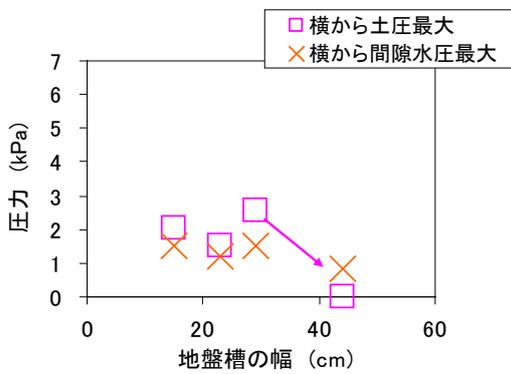
この条件における地盤槽下部の地盤の状態は、目視では大きな流動は認められなかったが、それぞれの圧力は振幅ごとに正圧から負圧にほぼ同様な値での振幅を繰り返していた。横から土圧の圧力変化が下から土圧に比べて大きく、正圧および負圧の絶対値は正圧の場合の方が僅かに高くなる傾向が認めら

れ、間隙水圧も土圧の変化に追従して変化する傾向が認められた。このことから、槽に対する圧力の多くは、間隙水の移動によるものであることが明らかとなった。

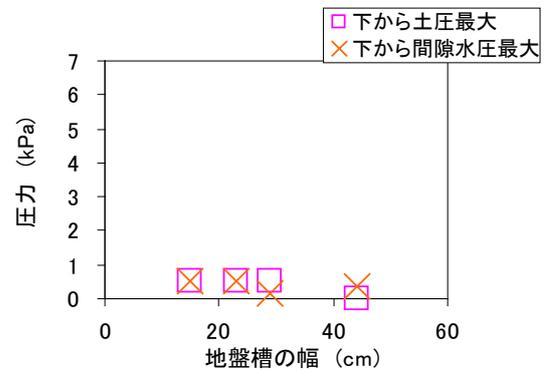
他の実験条件においても、この例と同様に、振幅ごとに正圧から負圧にほぼ同様な値で圧力変化を繰り返す傾向が認められており、浄化槽が地盤の振幅により外部から受ける最大圧力は、それぞれの絶対値の最大値が最も高い値となっている時であると考えられる。したがって、以後、それぞれの圧力の最大値を用いて地盤等の違いによる土圧および間隙水圧の特徴を解析した。

(2) 地盤槽の違いが土圧・間隙水圧に及ぼす影響

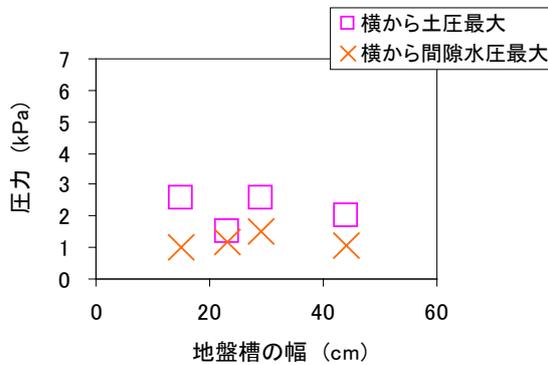
液状化が生じ難かった砂を締固めた地盤の実験においても、振幅速度が早くなると目視でも僅かに液状化現象が確認できたことから、各実験に共通して最も早い振幅速度で実験を行うことができた平均振幅速度（25cm/秒程度）での土圧および間隙水圧を比較した。地盤槽 1～3（地盤槽 1 については幅方向のほか奥行き方向に振幅させた実験も行った）を用いて、砂を深埋めした場合の横および下からの土圧と間隙水圧を測定した。その最大値と地盤槽の幅（センサとその反対側との距離）の関係を図 3-1-9 に示す。



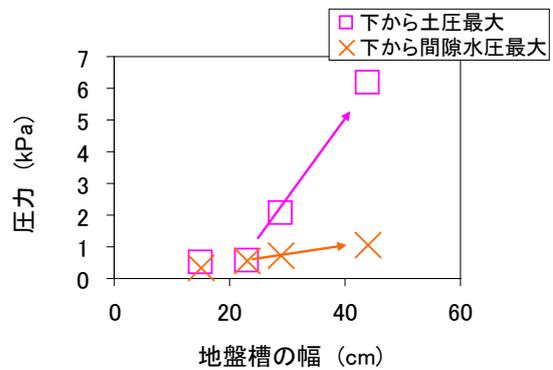
地盤槽の形状(地盤の幅)と圧力の関係:上



地盤槽の形状(地盤の幅)と圧力の関係:上



地盤槽の形状(地盤の幅)と圧力の関係:下



地盤槽の形状(地盤の幅)と圧力の関係:下

図 3-1-9 土圧・間隙水圧と地盤の幅の関係（平均振幅速度：約 25cm/秒）

1) 横からの土圧・横からの間隙水圧

地盤槽の幅が 30cm 以下の場合には、地盤槽の形状に関係なく最大圧力は 2kPa 程度を生じ、44cm 以上の場合には、上部では他の地盤槽の場合よりも低い土圧および間隙水圧を示す傾向が認められ、下部では他の地盤槽と同程度の圧力を示した。

2) 下からの土圧・下からの間隙水圧

上部について、地盤槽の幅が 30cm 以下の場合には、地盤槽の形状に関係なく 0.5kPa 程度と横から土圧より低い圧力を生じた。44cm 以上の場合においては、他の地盤槽の場合よりも低い土圧および間隙水

圧を示す傾向が認められた。一方、下部については、地盤槽の幅が 20cm 以上の場合、土圧および間隙水圧は地盤槽の幅が長い場合程高い圧力を示す傾向が認められ、とくに幅が長くなるほど土圧の上昇が著しいことが示された。

これらの結果および土圧および間隙水圧の最低値はそれぞれの最大値に-1 を乗じた値とほぼ同値であったことから、横揺れにより基本的に横からの土圧および間隙水圧が加わるが、地盤槽の幅が広いほど下部において上下動が大きくなるものと考えられる。しかし、よりスケールアップした場合には、振幅による共振の仕方等が異なるものと考えられることから実スケールによる検討を行う必要があると考えられる。

(3) 施工の違いによる影響

地盤槽 1 (WHD : 290×290×150 mm) を用いて施工方法の異なる 3 つのケース (砂を水締めした場合、砂利を水締めした場合、砂を水締め・締固めした場合) について、平均振幅速度である 25cm/秒程度での横および下からの土圧と間隙水圧を計測した結果を図 3-1-10 に示す。

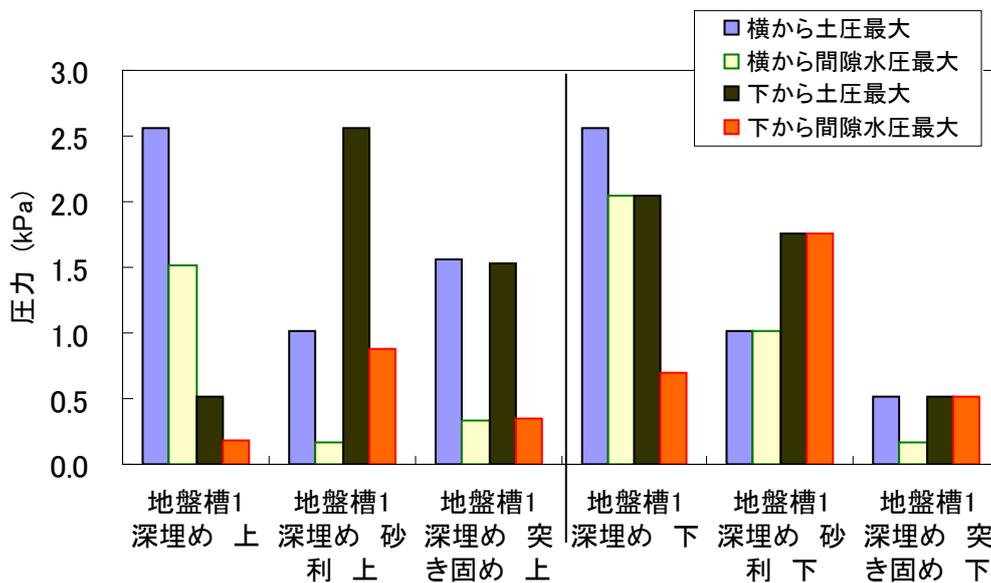


図 3-1-10 地盤ごとの土圧・間隙水圧 (地盤槽 1、深埋め)

砂を水締めしたケースでは、上部においては横土圧および横間隙水圧が低いことが示された。一方、砂利を水締めしたケースでは、下から土圧および下から間隙水圧が極めて高くなることが示された。下部においては横からの土圧および間隙水圧と下からの土圧は砂利の場合の方が低い値を示した。また、砂利の場合には、横からおよび下からの間隙水圧は、それぞれの土圧と同値を示したことから、主に砂利の空隙に充填した水が流動し、砂利自体の動きはなかったものと考えられる。

砂を水締め・締固めした場合は、上部においては、横および下からの土圧が 1.5kPa を示したのに対し、それぞれの間隙水圧は 0.3kPa 程度と土圧に対し低い値を示した。一方、下部における土圧および間隙水圧は、いずれの方向の場合とも砂および砂利で埋め戻した場合に比べて低い値を示し、下部の地盤は揺れを生じても比較的安定していたものと考えられる。

これらのことから、砂による埋め戻しは、水締め・締固めを行うことが浄化槽被害を防ぐために重要な工程であるといえる。砂利を用いたモデル槽の浮上実験では、水締め・締固めた場合よりも実験槽が浮上し易い傾向が見られた。しかし、砂利による埋設においても、間隙水は揺れに対して揺動するものの、砂利自体の移動は少ないのであれば、砂利と浄化槽の接触抵抗を増加させる対策を施すことで、地震により浄化槽が浮上する確率をより低下させることができるものと考えられる。

(4) 深さの影響

地盤槽 1 に砂と水で埋め戻したケースで、平均振幅速度で 25cm/秒程度での深埋め時の深さ毎に横およ

び下からの土圧および間隙水圧を測定した（図 3-1-11）。深さ方向における浄化槽に及ぼす土圧および間隙水圧の特徴について検討したところ、上下については、地盤槽の違いによる実験結果と同様な傾向であり、中間深さの場合は、上部とおおむね同様な値を示した。

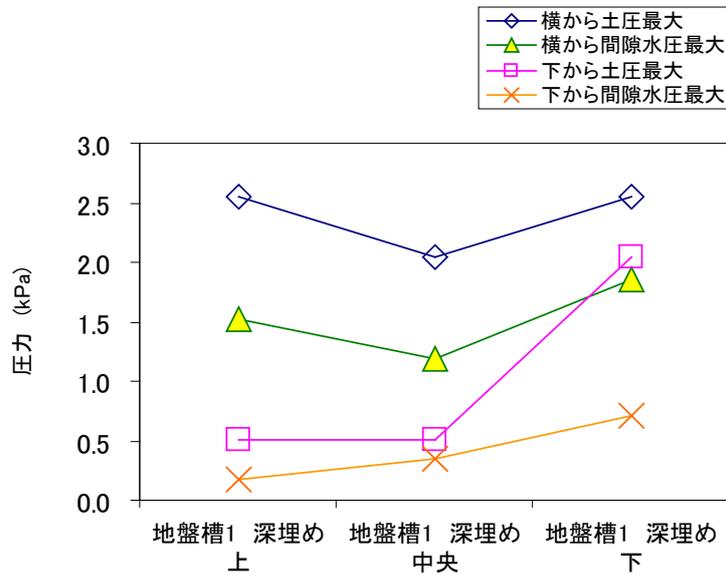


図 3-1-11 深さごとの土圧および間隙水圧（地盤槽 1 深埋め）

(5) 平均振幅速度と土圧の関係

地盤槽 1 を用いた場合における平均振幅速度と横からの土圧の関係（上部、下部）を図 3-1-12、13 に示す。砂と水、砂利と水および砂と水で締固めたそれぞれの地盤における土圧は、平均振幅速度が高いほど高くなる傾向が認められ、その上昇の程度はそれぞれの地盤ともおおむね同様な傾向を示した。これらの結果から液状化すると、加わる圧力は主に間隙水圧であり、土圧には砂あるいは砂利の粒子径はあまり影響されないものと考えられた。

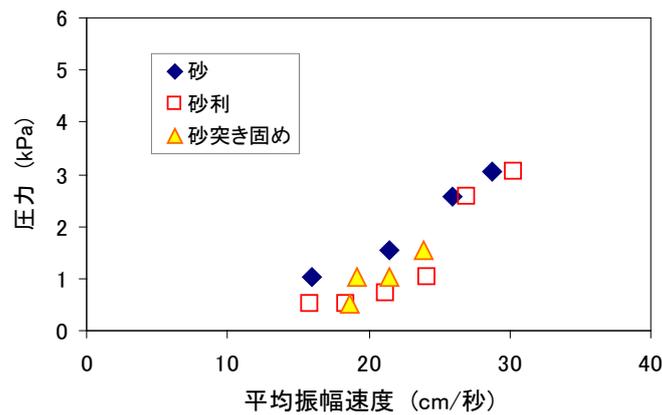


図 3-1-12 平均振幅速度と上部の横方向からの土圧の関係

一方下部でも平均振幅速度が高くなるほど、高い土圧が検出される傾向が認められたが、上部の場合よりも、砂と水による地盤の場合が、土圧が高くなり始める平均振幅速度が遅かった。これらの結果から、砂と水による地盤が、下部においても液状化が進みやすく、液状化すると上部からの圧力も受け、最大土圧が上昇し易かったものと考えられた。

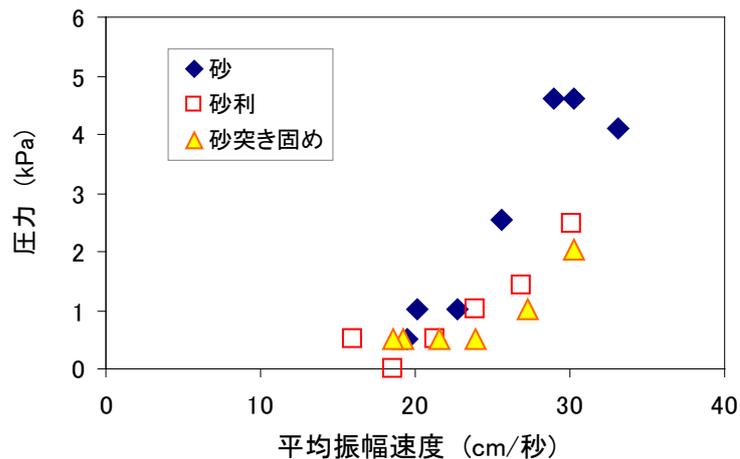


図 3-1-13 平均振幅速度と下部の横方向からの土圧の関係

3.1.6. 東北被災 3 県における被災浄化槽の補修に関するヒアリング調査

浄化槽の特長のひとつである補修の容易性に着目し、大規模地震に対する減災対策や迅速な復旧体制の確保に資することを目的として、岩手県（平成 25 年 2 月 18 日～20 日）、宮城県（平成 25 年 2 月 25 日～27 日）、福島県（平成 25 年 2 月 12～14 日）において、東日本大震災における浄化槽の被害と補修状況に関する自治体、業者等へのヒアリング調査を行った。

例として、福島県における調査対象浄化槽の情報を表 3-1-7～9 に示す。ヒアリングでは様々な情報が得られたが、主な内容は以下の通りである。浄化槽の被害防止についてこれまで有効と認識されてきた支柱工事や浮上防止バンドの設置は、浄化槽の浮上を抑制する効果は認められるものの、躯体や内部設備の破損は認められており、必ずしも有効な対策ではないことが明らかとなった。本体が浮上した場合は躯体の破損が極端に少なく、浮上しないと漏水・内部破損が多い傾向が認められた。応急対応や復旧工事を考えた場合、本体浮上と本体漏水のどちらを優先し防ぐべきなのかを含め、改めて掘削土の利用（材質を考慮した上で）など施工方法の検討についても行なう必要があると考えられた。

配管の破断等、軽微な破損については、保守点検業者が応急対応・修理を行っていたが、躯体や仕切り板の破損等、大掛かりで技術を要する修理については、専門業者に委託される場合も多かった。このほか、修理費用の問題で、修繕されないまま長期間使用され、公衆衛生の観点からも問題であると考えられる場合があったことから、浄化槽管理者に対する資金援助等に関する検討も必要であると考えられる。

これまでの東日本大震災における浄化槽の被害調査結果や今回のヒアリング調査の結果、躯体の材質が FRP の場合、型式により特定の箇所が破損する傾向が強いことや、小容量型では漏水等の被害が少ない傾向が認められた。また、ジシクロペンタジエンの場合は躯体の破損がほとんど見られない（漏水の被害率は FRP の 1/50～1/100）との意見が多かったことから、浄化槽の材質を検討することも必要であると考えられる。

発災後に必要となったものとして、ガソリンや発電機などが挙げられた。ガソリンはその後携行缶で備蓄をはじめた維持管理業者もあった。また、配管の補修材料やポンプ、ブロワが応急対応に必要とされたが、震災以前からある程度確保している維持管理業者もあり、被害の範囲にもよるが、通常業務における在庫の範囲でも一定の交換・補修等の作業が可能であることがわかった。さらに、ヒアリングを通して、災害に強く、補修の容易な浄化槽の開発や浄化槽の耐震基準に関する要望が寄せられた。

表 3-1-7 ヒアリング調査の対象となった浄化槽一覧

No	ヒアリング対象者	処理方式	人槽	支柱工事	補修内容
1	A市下水道課	合併	7	有	放流ポンプ槽の入替え
2		合併	7	有	放流ポンプ槽の入替え
3		合併	7	有	放流ポンプ槽の入替え
4		合併	7	有	槽本体の入替え
5		合併	7	有	槽本体の補修
6	株式会社B	合併	7	無	槽本体の入替え
7		合併	5	無	槽本体及び仕切板の補修
8		合併	7	有	送気管の破損
9		合併	340	無	仕切板及び内部配管の破損
10		合併	140	無	移流管の補修
11		合併	201	無	槽本体及び仕切板の補修
12		合併	70	無	槽本体及び仕切板の補修
13		単独	25	無	槽本体及び仕切板の補修
14		単独	6	無	放流管渠の補修
15		単独	22	無	槽本体及び仕切板の補修
16	株式会社C	単独	10	無	固定具の補修(接触材浮上)
17		単独	50	有	固定具の補修(接触材浮上)
18		単独	25	無	内部設備の補修
19		単独	25	有	槽本体の補修(流入部の破損)
20		合併	10	無	内部設備の補修(仕切・ろ材受け・槽内送気管の破損)
21		合併	10	無	内部設備の補修(仕切・ろ材受けの破損)
22		合併	25	有	内部設備の補修(担体流出防止ネット破損)
23		合併	10	無	内部設備の補修(槽内送気管破損)
24		合併	7	有	内部設備の補修(ろ材浮上)
25		合併	10	無	内部設備の補修(仕切)
26		合併	25	無	内部設備の補修(仕切)
27		合併	5	無	槽本体の入替え
28		合併	7	無	槽本体の再設置(浮上による)
29		合併	7	無	槽本体の再設置(浮上による)
30		合併	7	無	槽本体の再設置(浮上による)
31	合併	50	無	槽本体及び原水槽の再設置及び入替え	
32	有限会社D	単独	-	無	槽本体の入替え(破損・変形による)
33		単独	-	無	内部設備の補修(仕切)
34		単独	50	無	槽本体の補修
35		合併	10	無	槽本体及び内部設備の補修
36		合併		無	槽本体の補修
37		合併	200	無	槽本体の補修

表 3-1-8 処理方式別の被害状況

被害区分	単独		合併		合計		
	～10人槽	11人槽～	～10人槽	11人槽～	～10人槽	11人槽～	計
内部の破損 (仕切板・支持具・固定具・送気管等)	1	3	5	3	6	6	12
槽本体及び仕切板の破損	0	2	2	2	2	4	6
槽本体の破損	0	2	0	3	0	5	5
槽本体の入替え (全損扱い)	1	0	3	0	4	0	4
槽本体の再設置	0	0	3	1	3	1	4
ポンプ槽の入替え	0	0	3	0	3	0	3
その他 (槽外の移流管や送気管、管渠破損)	1	0	1	1	2	1	3
計	3	7	17	10	20	17	37

表 3-1-9 被害区分別の補修工事費

被害区分	単独		合併	
	～10人槽	11人槽～	～10人槽	11人槽～
内部の破損 (仕切板・支持具・固定具・送気管等)	23,000	230,000	20,000	753,000
槽本体及び仕切板の破損	-	556,500	89,250	1,575,000
槽本体の破損	-	非公開	495,600	非公開
槽本体の入替え (全損扱い)	非公開	-	1,317,750	-
槽本体の再設置	-	-	222,000	3,200,000
ポンプ槽の入替え	-	-	498,750	-
その他 (槽外の移流管や送気管、管渠破損)	89,250	-	105,000	205,800

なお参考資料として、巻末に被災 3 県におけるヒアリング結果（詳細）を県ごとに記載する。

3.1.7. 減災に有効な施工方法（埋め戻し方法）の検討

(1) 埋戻し土を固化させる方法

埋め戻し土を固化することにより、液状化による浮上や水平狂い等の被害を抑制することができると考えられることから、研究方法の表 2-1-5 に示した 1~5 の条件で埋め戻し土の固化方法について検討を行った。

湿潤条件における強度試験結果を図 3-1-14 に示す。DC バインダーは添加を増加させても崩壊加重が低くなる傾向を示した。クリコートにおける崩壊加重は、添加量に関係なく無添加の場合と同程度の値を示した。マグランドは、添加条件 3 までは崩壊加重が上昇する傾向が認められたが、より添加量を多くしても崩壊荷重は添加条件 3 と同程度であった。一方ポルトランドセメントは添加量の増加に伴い崩壊荷重が上昇する傾向が認められた。

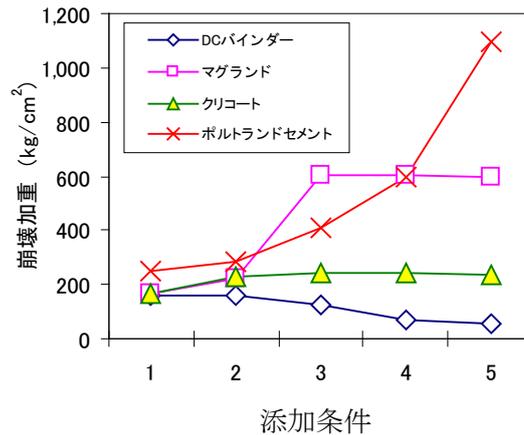


図 3-1-14 添加条件と崩壊加重の関係（湿潤条件 7 日後）

自然乾燥条件における強度試験の結果をみると、クリコートおよび DC バインダーは図 3-1-15（左）に示されるように添加量の増加に伴い崩壊荷重が上昇する傾向が認められた。また、粒子間が粘着したままテストピースの形状が変形するような崩壊となった。マグランドは、図 3-1-15（右）に示されるように、湿潤条件の場合と同様に添加条件 3 までは崩壊加重が上昇する傾向が認められたが、より添加量を多くしても崩壊荷重は添加条件 3 と同程度であり、崩壊荷重についても湿潤条件の場合と同程度であった。

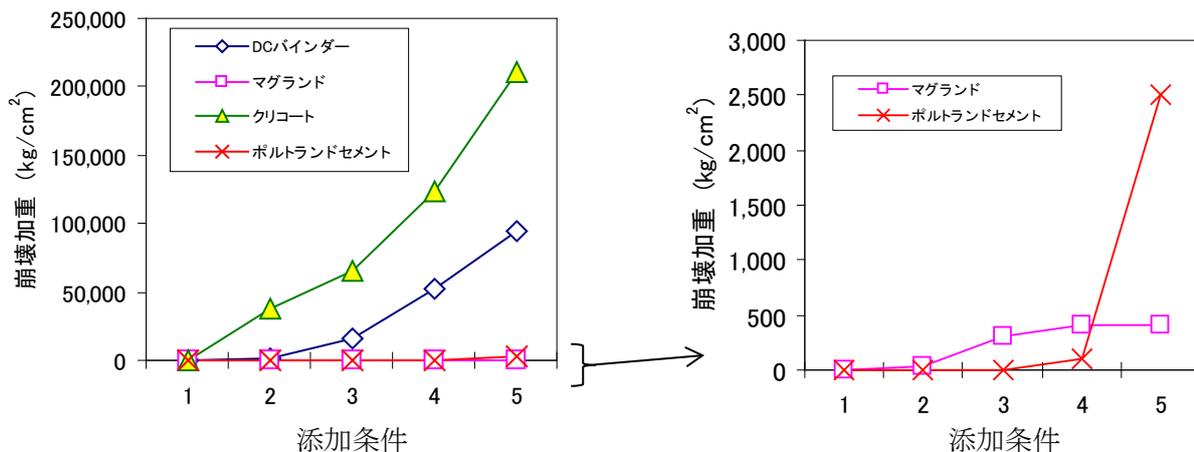


図 3-1-15 添加条件と崩壊加重の関係（自然乾燥 7 日後）

一方、ポルトランドセメントは添加条件 5 の場合における崩壊荷重が 2,510 kg/cm² と湿潤条件の場合よりも高いを示し挫屈崩壊したのに対し、これよりも低下量が少ない条件における崩壊荷重は低い値で

あり、テストピース全体が 2 mm 程度の粒子径で分散崩壊した。すなわち、ポルトランドセメントを用いた場合、添加量が少ないほど強度が弱いことから小規模な地震等による破壊が生じないか検討する必要があり、添加量を多くして強度を高めると挫屈崩壊しないよう配筋する等の対応が必要になるものと考えられる。

以上のことから、埋め戻した砂を自然乾燥させるような工事を行うことができれば、樹脂(高分子)系のクリコートあるいは DC バインダーにより埋め戻す砂を固化する方が望ましいものと考えられる。

なお、クリコートは現在の仕様のままでは時間経過とともに地中で次第に劣化してしまうことから、DC の方が実用の可能性があると考えられる。そこで、自然乾燥の程度を含水率を測定することにより、乾燥の程度と崩壊荷重の関係について検討した。DC バインダーを 10v% 添加した場合、20v% の場合とも、0.1w% になると図 3-1-16 に示すように崩壊荷重が高い値を示した。

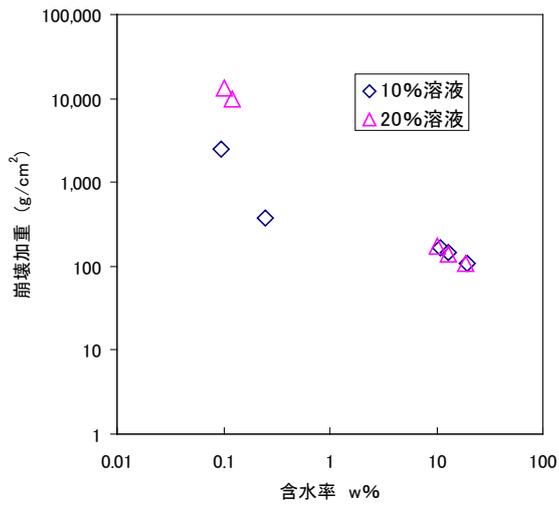


図 3-1-16 DC バインダーを添加した砂の含水率と崩壊荷重の関係

また、これと同じ手法でテストピースの砂に含浸させる DC バインダー溶液の濃度を変え、含水率が 0.1w% 以下となるまで自然乾燥させたそれぞれのテストピースにおける DC バインダーと崩壊荷重の関係について確認した。図 3-1-17 に示されるように濃度が高いほど強度が増すことが明らかとなった。

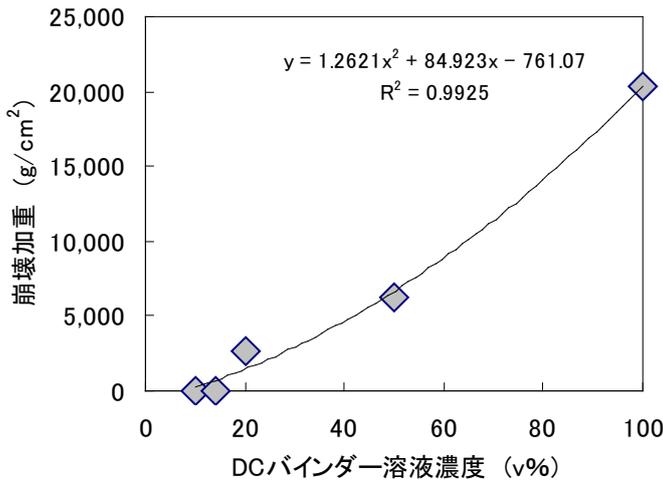


図 3-1-17 テストピースの強度と添加濃度の関係

このような埋め戻し土の固化について、費用に関するケーススタディを行った。2012 年度において最も設置基数が多かった小型浄化槽 CFII 型を嵩上げなしで設置(余り掘は各掘削面に対し、それぞれ 200mm)とした場合における埋め戻しに要する砂はおおよそ 3.43m³となる。DC バインダー 20v% 溶液 1.26m³ で水締めした場合の DC バインダーの必要量は 256L ; DC バインダーの価格を 18L 当たり 14,000 円とした場合(18L 缶を小売で購入した場合の価格)における費用は約 199,000 円、とかなり高額となり、リスク回避に対する費用としての妥当性を十分に検討する必要があると考えられた。

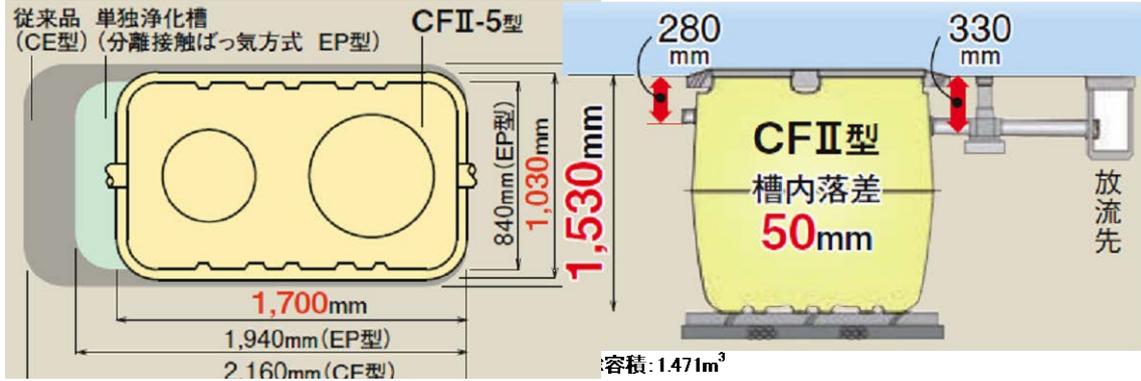


図 3-1-17 ケーススタディに使用した浄化槽の形状

(2) 埋戻し土に砕石を使用する方法

液状化し難い大きな粒子径の砕石を埋め戻し土とする方法が考えられるが、FRP 製躯体の浄化槽の場合、砕石による埋め戻しは、躯体が角張った砕石との接触(極めて狭い点)によって起こる応力集中により亀裂・破損を生じる可能性が高まる。そこで、圧力緩衝材を用いた場合における圧力の分散効果を検証することを目的とし、浄化槽と埋め戻し土の間に緩衝材としてウレタンフォーム(フォームエース:古河電気工業(株)製)を入れた場合の躯体に対する圧力の伝播特性を検討した。フォームエースの仕様・物性を表 3-1-10 に示す。

表 3-1-10 フォームエースの仕様・物性(メーカー資料)

製品タイプ	グレード	発泡倍率(倍)	厚さ(mm)	巾(m)	製品単位(m/巻)
フォームエース 架橋品 ポリエチレンフォームシート	SN-500	5	5	0.9	50
	SN-1000	10	5	1	50
			10	1	25
	SN-1500	15	5	1	50
			10	1	50
	SN-2000	20	5	1	100
			10	1	50
			15	1	50
			5	1	100
	SN-3000	30	10	1	50
15			1	50	
SN-4000	40	4*	1	100	

* 印は、スライス品

項目		SN500	SN1000	SN1500	SN2000	SN3000	SN4000	
発泡倍率		5	10	15	20	30	40	
密度	kg/m ³	201	91	61	44	29	26	
引張強さ	kPa	縦	1,613	662	472	330	204	218
		横	1,305	584	398	275	167	150
伸び	%	縦	171	153	162	158	88	92
		横	189	171	171	178	108	109
引裂強さ	N/cm	縦	120	50	32	21	14	11
		横	127	51	34	21	14	13
25%圧縮硬さ	kPa	394	133	80	57	35	31	
25%圧縮永久歪	%	2.4	1.7	0.9	3.2	7.2	9.0	
熱伝導率(0°C)	W/(m・k)	0.062	0.047	0.042	0.038	0.036	0.034	
加熱寸法変化率(70°C)	%	縦	±1.5	±1.5	±1.5	±3.0	±3.0	±3.0
		横	±1.0	±1.0	±1.0	±1.0	±1.5	±1.5
吸水率(A法)	mg/cm ²	0.18	0.27	0.27	0.33	0.48	0.21	

注1 数値は標準特性値です。

注2 試験方法は JIS K 6767 に依ります。

ただし、反発特性は JIS K 6401 および熱伝導率は JIS A 1412 の試験方法によります。

実験容器の底板から 80～90cm の位置における圧力測定シートの発色状況例を図 3-1-18 に示す。(注：シートは緩衝材なしおよび 5cm の場合は超低圧用 LLW を、10cm および 15cm の場合は極超低圧用 LLLW を用いている)。緩衝材のない場合には碎石と接触した部分に高い圧力を受け、接触していない部分はほとんど圧力を受けていなかったことが示された。なお、画像で発色が強い部分が若干縦方向に伸びているようになっているのは埋め戻して突き固めた際に碎石が接触したまま下に詰まったことによるものと考えられる。また、細かな点状の発色については碎石を充填した際に、パネルに碎石が衝突したためであると考えられる。一方、緩衝材で覆った場合には緩衝材の厚さに関係なく、点状に過大な荷重がかかる現象は軽減されることが明らかとなった。緩衝材が最も厚い 15mm の場合の画像において多少大きな点状の発色が認められたのは突き固めの際に過大な荷重が一次的に加わったものと考えられた。

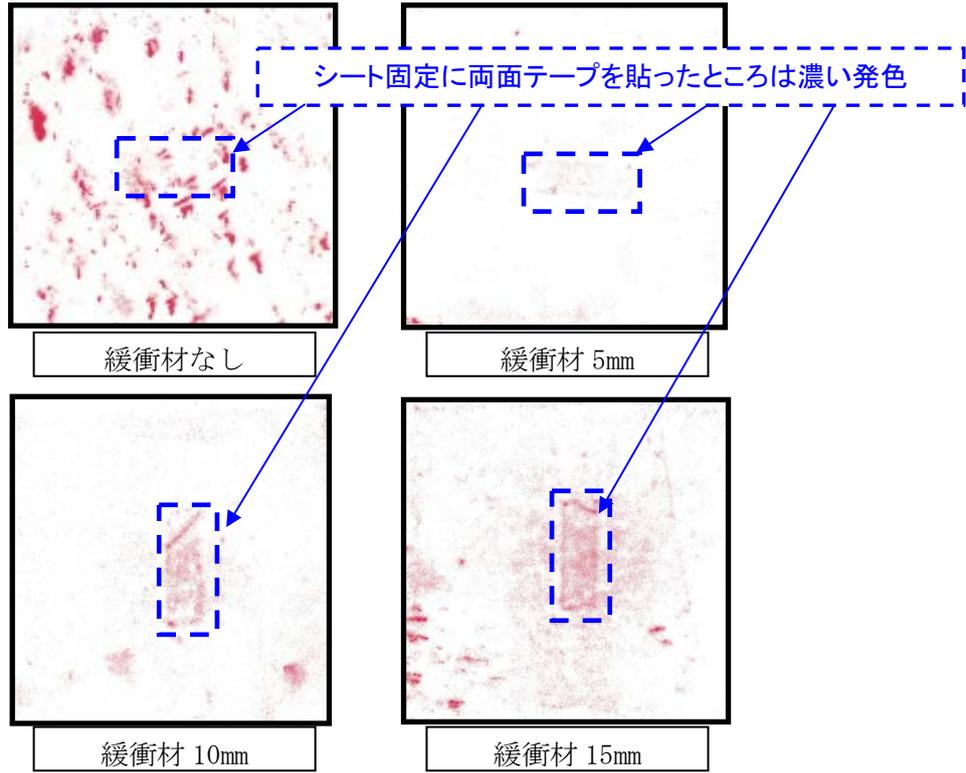


図 3-1-18 圧力測定シートの発色例 (底板から 80～90 cm)

PC に取り込んだ画像を 1 ピクセル単位で確認 (1 枚のシートで約 35 万ピクセル) し、最も発色が最も濃かった部分の色を図-4 から最大土圧として算出し、底板からの高さ (埋め戻し高さ) との関係を図 3-1-19 に示す。緩衝材の厚さごとにそれぞれ最大土圧は埋め戻し高さに大きな影響を受けていなかったものと考えられる。緩衝材が最も厚い 15mm の場合が他の場合よりもかなり高い値であったことから、今回の測定では突き固めの際の瞬時荷重が計測された場合も多かったものと考えられ、突き固め条件の再現性を向上させて検討することが課題となった。なお、これらの値による静的荷重が 100cm² の範囲で数箇所生じたとしても FRP 浄化槽が破損する可能性は低いものと考えられる。

以上のことから、より定量的な実験を行うことおよび実際の工事における突き固め方法を具体的に検討することが課題として残るものの、緩衝材を浄化槽に巻きつけることにより地震によっても埋め戻し部分が液状化し難い、すなわち浄化槽を浮上し難くすることは可能であるものと考えられた。

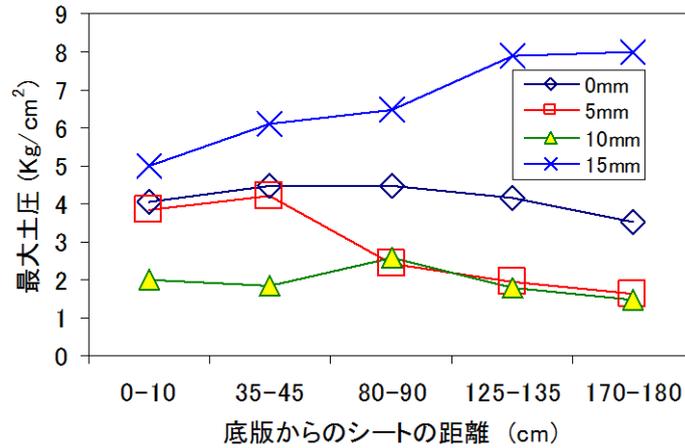


図 3-1-19 最大土圧と埋め戻し高さの関係

3.1.8. 簡易な応急対応方法に関する検討

躯体が破損して漏水を生じている浄化槽の応急的な止水方法について検討することを目的とし、破損箇所の削りだしやプライマー処理等の前処理を行わずに、短時間で硬化し、止水できる樹脂として、ポリウレタ系樹脂の「LINE-X」(株)ジャパンホームランドセキュリティ販売)およびFRP系補修シート(ウルトラパッチ：阿南電気(株))を選定した。

1) 樹脂の吹き付けによる応急修理

ポリウレタ系樹脂の「LINE-X」(株)ジャパンホームランドセキュリティ販売)は、コンクリートや金属、木材等の素材を選ばず使用でき、既存の建物等に塗装を行うことにより強度を向上させることを目的に開発されたもので、専用のスプレーガン(図 3-1-20)により塗装する材料である。スプレーにより吹き付けるため、塗装の厚さを調整することにより剛性を自由に設定できる。専用のスプレーガンは、加温した2液をガンの内部で混合し、塗布されるようになっている。塗布後、直ちに硬化が始まり、1分以内である程度の硬度を発生する。さらに2日間で最大強度に達する。また-40℃から260℃までの環境に耐えられる他、防水効果、防錆、防食効果も有しているため、大規模プラント、政府関係施設、公共施設、石油プラント、原子力発電所、トンネル、船舶、など幅広い分野で活用されている。これを浄化槽の破損部分にマンホール上から吹き付け、1時間程度静置した後、浄化槽に水を注水し効果を確認した。



図 3-1-20 スプレーガンの外観

吹き付けた粒子の固化速度が速く、吹き付けられた粒子は次々に固化が始まるため、吹き付けられている方向に対して影になる部分が生じた場合には空間が形成される、すなわち穴が塞がらない状態となった。水張りを行うとその部分から漏水することが確認されたものの、躯体に一度付着した部分が剥がれる現象は認められなかった。本来であれば、このような現象が生じないようにするためには吹き付け

る方向を変えるべきであるが、本実験では簡易に応急対応という条件として、マンホールの上から作業が行うこととし、このような条件では吹き付ける方向は限定されてしまう。また、このような吹き付けでは、塗布厚が薄くなる部分も生じ、水張りによる槽内水圧の上昇により躯体の変形によって塗布厚が薄い部分に亀裂を生じ漏水が始まった箇所も認められた。

以上のことから、樹脂を吹き付けることにより応急的に補修するためには、吹き付けるオペレーターが浄化槽内部に入って作業しないと、適切な処置が行えないことから、本来の FRP の補修方法に比べ簡易的な対応とはならないことが明らかとなった。

2) 補修シートによる応急修理

FRP 系補修シート(ウルトラパッチ：阿南電気㈱)は、図 2-1-14、表 2-1-6 に示す通り、ゴムのような柔らかい FRP シートが、紫外線により硬化する過程で含まれている樹脂により様々な素材に対し強力に接着しながら強度も高まる特性を持っている。通常、この補修シートを硬化させるために紫外線ランプを用いるが、自然光に 2 時間程度当たった状態でも硬化させることができる。また、従来の熱硬化性 FRP に比べ耐候性に優れ、200℃の高温条件においても使用することが可能であること等から、業種を問わず設備の延命化、作業時間の短縮、修繕コストの削減等の分野で利用されている。これを浄化槽の破損部分にマンホール上から破損部分に貼り付け、先端に不織布を巻きつけた棒を用いて圧着させ、4 時間程度自然光を当たった後、浄化槽に水を注水し効果を確認した。

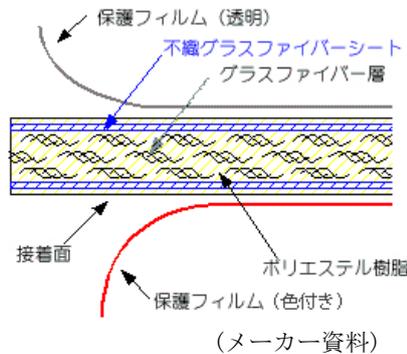


図 2-1-19 ウルトラパッチの断面

表 2-1-6 ウルトラパッチの特徴

施工が簡単	ハサミ、カッターナイフ等で任意の形にカットでき、補修部に手で貼り付けるだけです。
施工時間の短縮	貼り付け補修部が紫外線（太陽光）によって 35 分～で強力に接着しながら強度を増していきます。（屋内および曇天の時は紫外線ランプで硬化させます）
作業環境に優しい	従来のライニング工法に比べて樹脂の調合など専門職を必要とせず、誰でも簡単に施工出来、ガラス等の飛散も無く安全でクリーンな作業環境を提供します。
品質の安定	収縮はほとんどなく、FRP シート化によって安定した強度と仕上がりが得られます。
施工後の処理が簡単	穴あけ、塗装、サンドがけが出来ます。
幅広い用途	防水性、絶縁性、耐候性、耐食性、耐衝撃性、耐熱性（200℃可）に優れ幅広い分野で使用できます。
公的機関での認定	JIS A 1322「建築用薄物材料の燃焼試験」による防災 1 級に合格 食品衛生法「食品添加物の規格基準」に適合 JWWA Z108:2004（日本水道協会規格）の「水道用資機材の浸出試験」に適合 国土交通省新技術情報システム登録 No. CB-990022-V

メーカー資料

槽底部に長さ 50cm 程度の亀裂が生じた単独処理浄化槽(5 人槽：全ばっ気型)の破損部を家庭用高压洗浄機を用いて洗浄し、乾燥させた。その後、補修シートを張り(シートの継ぎ目は 1cm 程度オーバーレイを行った)、先端に不織布を巻き付けた棒を不織布に押し付け、シートと浄化槽の躯体の間の空気を可能な限り排除した。3 時間程度自然光に当てた後、槽内に水張りを行い補修の状況を確認した。

その結果、数箇所から漏水する状況が確認されたが、水圧による補修シートの変形および躯体と接着された部分が剥がれる現象は認められなかったことから、硬化した補修シートの強度は浄化槽の補修に対応できるものと考えられた。漏水が生じたのは、補修シートを浄化槽に圧着させる際に隙間が残っていたためであると考えられる。その要因として躯体の表面が平滑でなかったため、棒を押し当てる方法では十分に躯体とシートの隙間が生じたことが考えられる。これを改善するためには補修シートの貼付け面を軟質にすることが可能であれば、圧着性は向上するものと考えられる。

3.1.9. 浄化槽の耐震性に関する基準作り

本研究を契機に、浄化槽の耐震構造や耐震施工方法に関する基準を策定するべく、国内唯一の浄化槽の性能評価機関である(一財)日本建築センターの協力を得て、基準化・評価の検討を進めている。建築物としても過去に例の無い地下埋設された地上部との強固な接合部分がほとんど無い浄化槽については、すぐに基準化できるものではないが、これまでの議論において、以下のような基準策定の方向性を検討してきている。

- ・ 絶対に壊れない浄化槽ではなく、暫定使用が可能となるレベル(流入側の漏水がなく、消毒ができる状態)を目指す。
- ・ 軽微な改良で対応可能なもの。
- ・ 補修の容易性の向上に資するもの。

具体的には、本研究で検討してきた内容も含め、構造上の強度、浮上防止バンド、支柱工事等の効果、スロッシング(振動により槽内水が揺動すること)による影響、フレキシブル配管、施工方法などが挙げられるが、今後の浄化槽開発の動向にも影響を及ぼすことから、引き続き、慎重かつ着実に検討を進めていくこととしている。

3.2. 避難所等での活用を想定した自立型浄化槽システムの確立

3.2.1. 自立型浄化槽システムの基本設計

(1) 自立型浄化槽システムの基本設計

東日本大震災の直後、ライフライン（水、食料、ガス等）の確保は優先的に進められたが、避難所等においては、トイレ洗浄水の不足や排水設備の被害等から生じた水洗便所の使用制限は大きなストレスとなり、また、衛生面からもその対策が必要であった。また、被害復旧速度としては、都市ガス、下水道等の集中インフラは、その規模の広範囲さから復旧の遅れが生じざるを得ないが、LPガス、浄化槽等の分散インフラは、リスクが分散されたことから、災害に対して有効であるとの指摘もなされている。そこで本研究では、避難所等における災害時の衛生環境の確保および生活環境の向上のため、特に、し尿を中心とした排水への対応を念頭に、被災時にも水洗トイレの使用を可能とする自立型浄化槽システムの基本設計を行った。

ここでいう自立型浄化槽システムとは、災害時においても独立で稼働するシステムを指しており、以下の機能を有するものとした。

- ① 避難所等においては、分散型排水処理設備である浄化槽の設置を基本とするとともに、浄化槽の運転駆動力であるエネルギー（電力）を自立分散型発電設備であるコージェネレーションシステム、風力発電、太陽光発電等により確保する。
- ② 浄化槽処理水の中水としての利活用を図り、水洗便所洗浄水を確保する。
- ③ 上記、浄化槽での処理水量を低減させ、浄化槽の運転駆動力であるエネルギーを削減するために、避難所等には、節水トイレなど、節水機器を常設する。
- ④ 中水利用を容易化するため、スクリーン等による流入負荷削減機能を有する。

本研究で開発する自立型浄化槽システムが有する構成要素について、基礎情報の収集・調査し、避難所仕様の自立型浄化槽の評価項目について検討を行った。自立分散型発電設備として、太陽光発電、風力発電は、夜間の需要や安定した電力供給には大容量の蓄電池が必要となる可能性があるため、コストを考えると単独使用は困難と考えられる。一方で、コージェネレーションシステムでは、熱電併給という効率性に加え、燃料としてLPガス、灯油等を使用することで、発災直後にも利用できる可能性が高いと考えられる。排熱については、避難所内で使用するのみならず、浄化槽等の処理プロセスにおいても熱利用による寒冷対策、汚泥消化、残渣の乾燥処理など、効率的な処理システムを構築できる可能性が考えられた。機器の選定に当たっては、自立型浄化槽の構成機器および避難所全体の熱電需給バランスを考慮して、太陽光発電、風力発電を必要に応じて補助的に使用することで、避難所における自立的なエネルギー確保が可能とするのみならず、平常時のエネルギー総合効率を最大化するシステムを検討することとした。

(2) 避難所等への節水トイレの導入に関する検討

水洗トイレにおける用水確保の観点から、避難所等への節水トイレの導入に関する検討を行った。既往研究を調査し、一般的な排泄回数を調査したところ、¹⁸⁾は、排泄大1.09回/人・日、排泄小5.39回/人・日（表3-3-1）と報告しており、さらに、このそれぞれの排泄回数に既存ストックであるトイレと節水トイレの洗浄水量を乗じたトイレ用水量を比較した結果は、表3-3-2に示す通りである。これにより、節水トイレを導入することにより、43.2%の節水効果が期待できると考えられる。

避難所等においては、台所や洗濯、風呂等の使用が限られているため、トイレ由来の水使用量が多いことが予想される。そのため、特に水洗トイレを節水型にすることは、節水効果の増大が期待される。また、この節水トイレの導入は、併せて、後段の浄化槽における処理水量負荷の削減も図り、浄化槽内における膜分離ユニットの透過流束を軽減することにもなる。そのため、避難所等に、この節水トイレを導入することは、水使用量削減と排水処理水量削減の両面から有効であると考えられた。

表 3-3-1 排泄回数

	排泄大			排泄小		
	自宅内	自宅外	合計	自宅内	自宅外	合計
全体	0.78	0.31	1.09	2.83	2.56	5.39
男	0.78	0.43	1.21	2.23	2.98	5.21
女	0.78	0.15	0.93	3.64	2.02	5.66

(回/人・日)

表 3-3-2 便器の洗浄水量

	既存ストック		節水トイレ		節水率 (%)
	洗浄水量 (L/回)	洗浄水量 (L/人・日)	洗浄水量 (L/回)	洗浄水量 (L/人・日)	
大	10.1	11.0	6.0	6.5	—
小	8.9	48.0	5.0	27.0	—
計	—	59.0	—	33.5	43.2

また、節水機器の導入は、後述する膜分離活性汚泥法を用いた浄化槽における処理効率の増大にも寄与することが考えられる。膜分離活性汚泥法は、一般に、排水の高濃度化に強く、高水量化に弱い特徴を有する。そのため、節水機器導入による排水の低水量・高濃度化は、膜分離活性汚泥法を用いた浄化槽との組み合わせとして、有効であると考えられた。

さらに、避難所等における節水トイレの常設化は、避難所等に設置する浄化槽の処理規模（処理能力）を想定するに当たり、浄化槽への流入水量、流入水質に影響を及ぼすことが考えられるため、避難所等においては、避難時の最大収容人員およびこれら流入水量、流入水質を想定した人員算定に見直す必要があると考えられた。そこで、避難所等における原単位について、検討を行った。

建築物の用途別による尿尿浄化槽の処理対象人員算定基準（JIS A 3302：2000）において、避難所等となりえる「小学校」の人員算定は、次のように示されている。

$$n = 0.20 \times P \quad (n : \text{処理対象人員}, P : \text{定員 (人)})$$

「小学校」が避難所として指定される場合、Pは、避難時最大収容人員が適当であると考えられる。一方、「建築物の用途別による尿尿浄化槽の処理対象人員算定基準表」の「算定単位当たりの汚水量およびBOD参考値」によると、「小学校」の汚水量とBOD濃度は、次のように示されている。

汚水量：50 L/人・日、BOD濃度：180 mg/L

しかし、浄化槽の構造基準・同解説¹⁹⁾によると、学校の汚水の特徴として、低濃度、小排水量であることを挙げており、さらに、厨房排水が流入しない施設では流入汚水中の窒素濃度が尿尿系に近い値になると記載されている。そのため、避難時においては、学校の汚水の特徴が軽減し、さらに、厨房が使用されないことを想定し、排水はトイレ排水のみと仮定し、トイレ排水の原単位を適用すると、次のようになる。

汚水量：50 L/人・日、BOD濃度：260 mg/L

この原単位に、節水トイレを導入することで、表4で示された43.2%のトイレ洗浄水量が削減されるとなると、次のようになる。

汚水量：28 L/人・日、BOD 濃度：460 mg/L

しかし、避難所等では、混乱期から、安定救援期まで、そのフェーズにより、排水量が異なることが想定される。表 3-3-3 は阪神淡路大震災時における避難所の水需要の実績を示しており、混乱期と比較して、安定救援期では約 2 倍の水需要があったことが伺える。当然、これに伴って排水量も増大することから、負荷設計に際しては、これらの内容を考慮に入れ、避難所等における人員算定に繋げていく必要があると考えられる。

表 3-3-3 避難所の水需要

	飲料系	生活系	雑用系	合計
混乱期	7	2	7	16
緊急救援期	10	4	9	23
安定救援期	13	7	12	32

単位:L/人・日

(3) 冬期間における浄化槽の低水温化と処理水質

宮城県内の一般家庭に設置されている浄化槽の浄化槽内水温と処理水質を調査した結果は図 3-3-1 に示すとおりである。この結果から、1 月～3 月の冬期間においては、浄化槽内水温が 10℃を下回る期間が存在した。また、低水温期間を中心に、浄化槽の十分な処理機能が発揮されない場合もあると考えられたが、既往研究¹⁰⁾では、処理水質は、必ずしも、低水温期間において悪化している訳ではなく、水温変動に伴い、処理水質の増減があることを示している。

本研究で想定している自立循環型浄化槽システムでは、浄化槽処理水を水洗トイレ洗浄水（中水）に利活用することを想定しているため、常に、安定して良好な処理水質を得る必要があると考えられた。そこで、本研究では、浄化槽の運転駆動力である電力を自立分散型発電設備である LPG-コージェネレーションシステムを採用することにより、現位置（避難所等敷地内）での発電を可能にするとともに、その排熱を利用し、浄化槽槽内水を保温することを考えている。この保温は、浄化槽内の低水温対策の他、水温変動を少なく抑えることにより、浄化槽の処理水質を安定して良好に維持させることに繋がると考えられる。

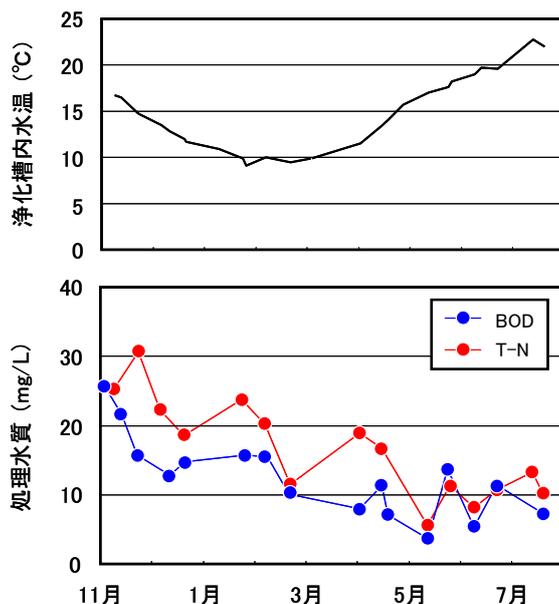


図 3-3-1 浄化槽の槽内水温と処理水質の関

3.2.2. 処理水の水洗トイレ洗浄水（中水）への利活用に関する検討

排水再利用のためのボトルネックと考えられた浄化槽処理水中の大腸菌数を調べるために、既設浄化槽の処理水に含まれる大腸菌数を調査した結果は、表 3-3-4（5月）および表 3-3-5（11月）に示すとおりである。この結果から、5月の浄化槽内水温が比較的高い時期（平均 19.3℃）では、処理水中の残留塩素濃度が高く検出される傾向にあった。これは高い水温により、消毒塩素剤の可溶化が増加したことによると考えられた。これにより、残留塩素濃度の高い施設では、大腸菌ゼロの施設も見受けられたが、高濃度の残留塩素は、水環境中での生物への悪影響や排水の再利用時における排水処理性能に悪影響を及ぼすことも指摘されている。一方、11月の結果から、浄化槽内水温が比較的低い時期（平均 17.6℃）では、低い水温により、消毒塩素剤の可溶化が低下したことにより、残留塩素濃度が低く検出される傾向にあった。残留塩素濃度が高い施設においては、大腸菌ゼロの施設もあったが、適正（残留塩素が検出されている）と判断されている施設においても、残留塩素が低い施設においては、大腸菌ゼロになることは無かった。

表 3-3-4 既設浄化槽の処理水に含まれる大腸菌および大腸菌群数（5月）

No.	実使用人員 /算定人員	浄化槽水温 ℃	処理水質			残留塩素 濃度 mg/L	大腸菌群 (Deso) CFU/mL	大腸菌群 (ECC) CFU/mL	大腸菌 (ECC) CFU/mL
			BOD mg/L	T-N mg/L	SS mg/L				
1	3/10	19.7	13	11	10	2.0	2	0	0
2	2/8	20.6	3.6	5.5	2.0	0.4	0	0	0
3	7/7	20.0	33	52	15	1.0	0	0	0
4	7/7	17.5	8.5	22	5.0	1.5	0	0	0
5	2/10	18.5	4.5	16	2.0	2.0	0	0	0
6	4/7	22.6	4.0	26	13	1.0	1900	260	4
7	3/7	20.8	1.9	6.2	0.8	3.0	0	0	0
8	2/5	16.1	43	7.8	12.5	0.5	20000	17000	15000
9	3/7	15.8	4.8	23	4.0	3.0	0	0	0
10	7/5	21.0	36	46	13.5	0.05	270	180	18

表 3-3-5 既設浄化槽の処理水に含まれる大腸菌数（11月）

No.	実使用人員 /算定人員	浄化槽水温 ℃	処理水質			残留塩素 濃度 mg/L	大腸菌群 (Deso) CFU/mL	大腸菌群 (ECC) CFU/mL	大腸菌 (ECC) CFU/mL
			BOD mg/L	T-N mg/L	SS mg/L				
11	5/10	19.5	16	9.9	9.3	0.4	76	44	15
12	5/7	17.0	4.7	29	4.4	1.0	0	0	0
13	3/7	18.0	16	11	24	1.5	10	24	0
14	8/10	24.1	6.5	19	1.7	0.05	150	140	26
15	3/7	14.7	9.5	10	6.4	0.2	120	73	49
16	3/7	16.0	60	65	43	0.05	2400	6400	110
17	4/5	17.5	17	25	8.4	0.1	20000	1100	37
18	6/8	16.5	26	39	9.2	1.5	0	5	0
19	5/5	15.4	8.4	24	2.9	0.05	260	300	25
20	3/5	17.0	18	40	13	0.05	760	1100	26

次に、宮城県と茨城県にある浄化槽施設 2 施設において、浄化槽の処理水質、大腸菌群数および大腸菌数を経日変化として、調査した結果は、図 3-3-2 に示すとおりである。この結果から、2 施設とも、現在、浄化槽の基準とされている大腸菌群数と比較して、トイレ洗浄水（中水）の基準とされている大腸菌数は、少量ではあるが確認された。

上記、20 施設および 2 施設の経日変化の結果から、浄化槽処理水をトイレ洗浄水（中水）として利活用するためには、この大腸菌数をゼロにする対策が重要であると考えられた。また、今回、調査した施設では、処理水質と大腸菌群数および大腸菌数に明確な相関は認められなかった。

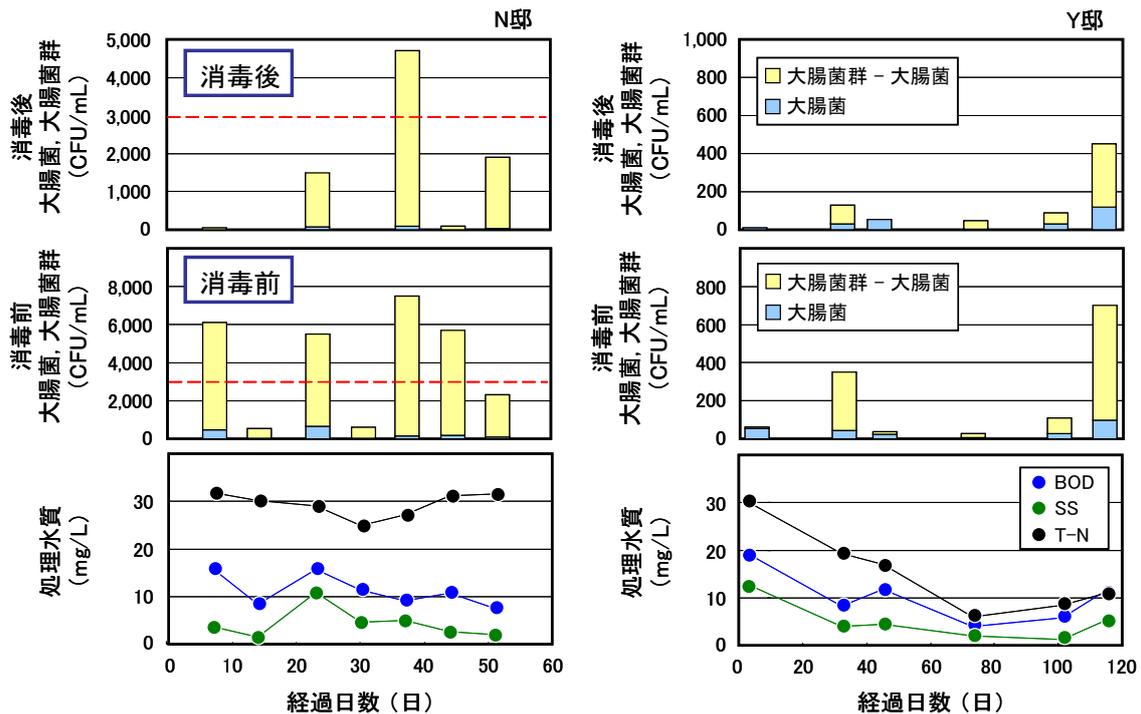


図 3-3-2 既設浄化槽に含まれる大腸菌数（経日変化）

上記の結果を踏まえ、浄化槽処理水中に含まれる大腸菌をゼロにするための代表的手法として、以下の3種類の方法が挙げた。

①大腸菌ゼロを確保するのは困難

- ・大腸菌含有排水からの距離（リスク）を遠ざける
→ マンホールトイレの利用、（簡易水洗トイレ+配管洗浄水）の利用（図 3-3-3）

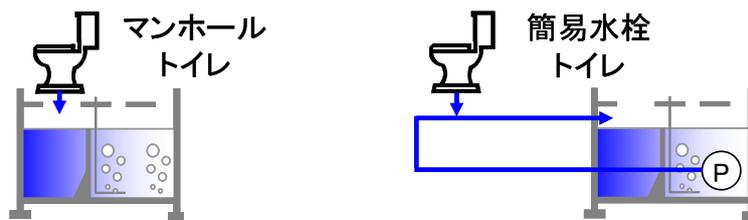


図 3-3-3 マンホールトイレ、（簡易水洗トイレ+配管洗浄水）の利用

②大腸菌ゼロを確保するために殺菌効果を増大

- ・塩素添加量の増大、消毒槽の滞留時間（殺菌時間）増大
→ 水環境における生態系への悪影響、塩素高含有再利用水の浄化槽に対する悪影響、塩素消毒剤の貯蓄量増大
- ・紫外線消毒の導入
→ 紫外線消毒のための電気エネルギー必要

③大腸菌ゼロを確保するために 砂ろ過または膜分離の導入

本研究では、トイレ洗浄水（中水）への適用を図るため、大腸菌数ゼロを確実に確保するために、膜

分離の導入について検討を進めることとした。

3.2.3. 避難所仕様浄化槽モデルによる試験

(1) 自立循環型浄化槽システムにおける処理水質

本研究で構築した自立循環型浄化槽システムモデルから排出された処理水（一般水質項目）の結果は、図 3-3-4（膜分離ユニット出口水）および図 3-3-5（活性炭ユニット出口水）に示すとおりである。試験期間を通じて、流入開始直後より、BOD, SS, NH₄-N は、常に 5 mg/L 以下で推移し、浄化槽としての良好な処理水質を確保できることが確認されたが、加温により膜分離ユニットを 40℃まで上昇させると NH₄-N が残存する傾向が認められた。各水温での生物活性の変化を調査するために、代表的に、各水温における硝化活性を測定した（図 3-3-6）。水温 13℃の時と比べて、水温を 20℃, 30℃に上昇させることにより、それぞれ、硝化活性は 15 %, 17 %増加した。しかし、水温を 40℃まで上昇させると、硝化活性は著しく低下する結果となった。これらの結果は、一般に、硝化活性の至適温度が 30℃前後であることと一致しており、また、この結果から、図 3-3-4, 5 における水温 40℃での NH₄-N の残存に繋がったと考えられた。

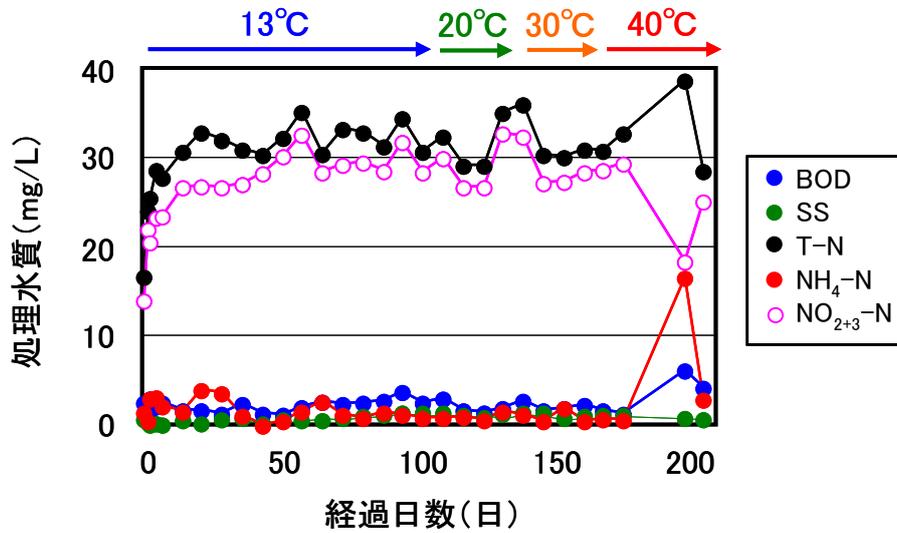


図 3-3-4 膜分離ユニット出口水の処理水質（一般水質項目）

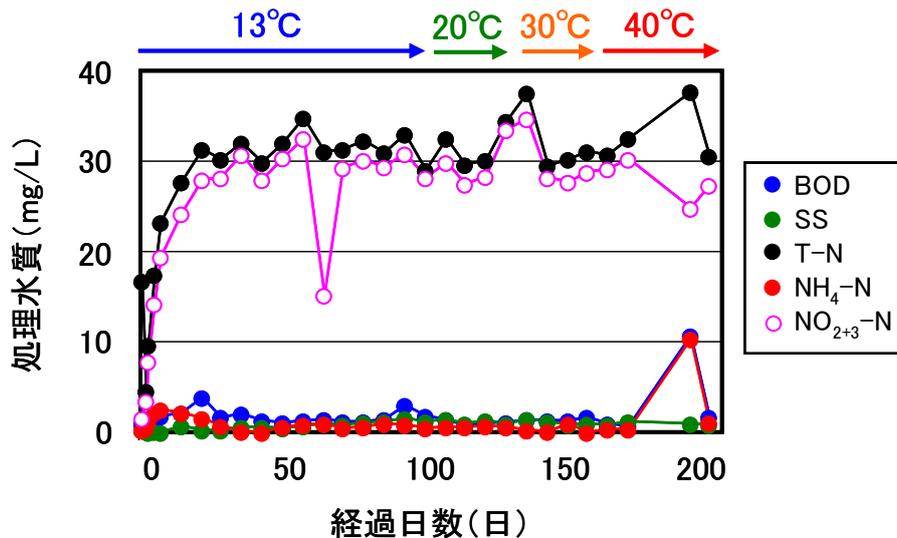


図 3-3-5 活性炭ユニット出口水の処理水質（一般水質項目）

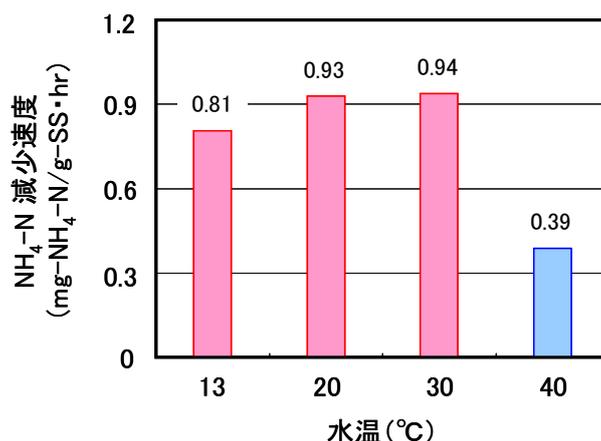


図 3-3-6 各水温における硝化活性

T-N に関しては、脱窒反応は進行せず NO₂₊₃-N が多く残存するために、高い値が検出された。T-N が減少しなかった原因と対策および課題は、表 3-3-6 に示す通りである。また、本実験が膜分離ユニット 3.0 m³、活性炭ユニット（貯留水槽を含む）2.7 m³と、避難所等に設置するには、小さい装置であったことも原因の一部と考えられた。また、この表 3-3-6 で示した対策の方向性は、いずれも、電力エネルギー削減にも繋がる方法である。今後、実スケールの設計・稼働に際しては、これらの内容を考慮に入れ、運転方法の最適化を図る必要があると考えられる。

表 3-3-6 T-N 低減のための対策と解決すべき課題

原因	対策方法	対策実施のために解決すべき課題
30分間の嫌気・好気交互運転 嫌気時間が足りなかったため 脱窒反応不足	嫌気時間の増大 好気時間の短縮	好気時間のみ 膜から排水が透過 嫌気槽・好気槽の分離
ばっ気強度が強過ぎたため 脱窒反応不足	ばっ気強度の最適化	ばっ気強度を弱めると 膜閉塞の可能性増大

上記、試験期間中における排水再利用のための水質基準値への適合性は、表 3-3-7（膜分離ユニット出口水）および表 3-3-8（活性炭ユニット出口水）に示すとおりである。この結果から、排水再利用のための水質基準に対しても、流入開始直後より、確保できていることが確認された。浄化槽をはじめとした生物による排水処理では、運転開始から所期の性能を発揮するまでの期間が比較的長いという特徴があるが、膜分離ユニットを用いることにより、運転開始直後より、排水再利用に適した処理が可能であることが明らかとなった。

表 3-3-7 膜分離ユニット出口水の処理水質（排水再利用項目）

経過日数(日)	1	7	14	28	56	84
外観						
臭気	無	無	無	無	無	無
色度(度)Abs.390	11	17	15	13	13	15
濁度(度)Abs.660	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
大腸菌(cfu/mL) ^{※1}	0	0	0	0	0	0
大腸菌(/100mL) ^{※2}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※1 酵素基質選択培地(ECC) ※2 コリラート

表 3-3-7 活性炭ユニット出口水の処理水質（排水再利用項目）

経過日数(日)	1	7	14	28	56	84
外観						
臭気	無	無	無	無	無	無
色度(度)Abs.390	0	0	4	5	7	6
濁度(度)Abs.660	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
大腸菌(cfu/mL) ^{※1}	0	0	0	0	0	0
大腸菌(/100mL) ^{※2}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※1 酵素基質選択培地(ECC) ※2 コリラート

(3) ディスポーザ導入効果に関する検討

自立循環型浄化槽システムにおける生ごみの乾燥・減量・保管の検討を行うため、試験では毎日、標準生ごみを投入し、自動微細目スクリーンにより回収した。また、スクリーンにより回収した標準生ごみは、65℃において、乾燥させ、2週間に1回取り出し、その体積および重量を測定した。回収した生ごみの外観を図3-3-7に示す。この様に、回収した生ごみは、さらさらとしたフレーク状となり、ハンドリングのし易い、臭気の少ない生ごみとなった。また、65℃による乾燥のため、主な病原菌等も死滅していると考えられた。

これら乾燥した生ごみの減量・減容効果を計算した結果、図3-3-8に示す通り、投入した標準生ごみに対して、重量比で80%、体積比で74%の生ごみ削減効果があった。結果は、試験期間中の平均で示してある。この結果から、ディスポーザで破碎した生ごみをスクリーンにより回収し、乾燥機で乾燥させることにより、生ごみの長期的、衛生的な保管が可能であることを確認できた。また、これらの乾燥に用いる熱源は、後述するコージェネレーションシステムから供給される排熱を利用できると考えられた。



図 3-3-7 回収乾燥生ごみ

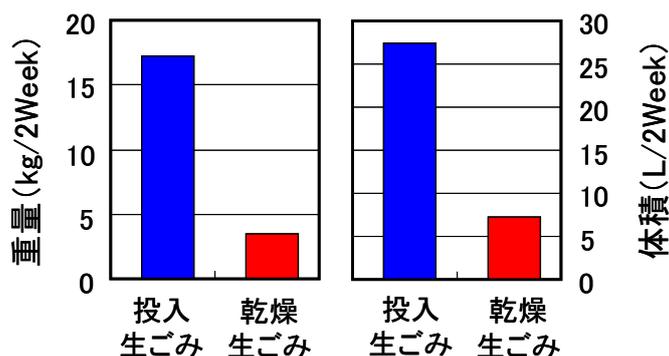


図 3-3-8 生ごみの減量・減容効果

自立循環型浄化槽システムにおける汚泥の挙動を明らかにするため、定期的に、膜分離ユニット内の汚泥濃度 (MLSS) の測定を行った。その結果は、図 3-3-9 に示すとおりである。この結果から、経過日数が経つに従い、汚泥濃度は徐々に増加していったが、MLSS 濃度が 8,000 mg/L 程度になったところで、汚泥濃度の増加は緩やかになった。この現象は、膜分離ユニット内を加熱することにより、ユニット内汚泥の自己消化や可溶化が進行したことが原因であると考えられる。また、この加熱による汚泥の発生抑制は、本研究で構築する自立型浄化槽システムにおける汚泥の長期的保管の可能性を示唆している。

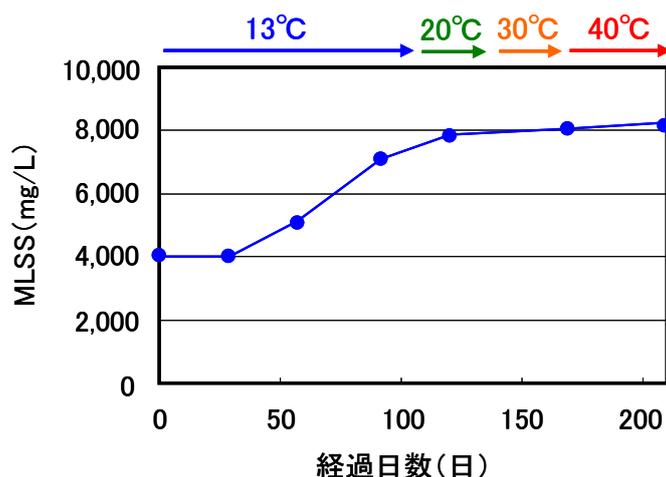


図 3-3-9 膜分離ユニット内の汚泥濃度の推移

また、本試験終了後、浄化槽内の夾雑物除去槽 (汚泥貯留槽) 等に貯留されていた汚泥量も調査し、試験期間中に除去された BOD 量との関係から、BOD-汚泥転換率を算出した。BOD-汚泥転換率を算出した結果、0.348 となり、これは、一般的な浄化槽における BOD-汚泥転換率 (0.2~0.4¹⁹⁾) の範囲内であったことから、通常の浄化槽と同様な汚泥発生量であると考えられる。しかし、本自立型浄化槽システムモデルにおいて、その汚泥のほとんどが夾雑物除去槽に貯留されていたものであり、浄化槽内における生物処理反応による減量化反応をほとんど受けていない。本自立型浄化槽システムモデルでは、上述したとおり、前段にスクリーンを設けており、このスクリーンが夾雑物を除去する効果を有しているため、浄化槽内には、夾雑物除去槽を不要にできる可能性が考えられる。また、本研究では、明らかにすることはできていないが、コージェネレーションシステムの排熱を利用した乾燥により、浄化槽内で発生した汚泥等の乾燥・減量化についても検討する余地がある。これらのことから、今後、実スケール設計に際しては、汚泥発生抑制をさらに進め、夾雑物除去槽 (汚泥貯留槽) の最小化を図る必要があると考えられる。

(4) 自立循環型浄化槽システムモデルの電気・熱エネルギー使用量

本研究で実験に供した自立循環型浄化槽システムモデルの通常時（13℃）における電気エネルギー使用量および熱エネルギー使用量を調査した結果は、図 3-3-10 に示すとおりである。この結果から、電気エネルギーの使用量は、浄化槽運転における 156.5 Wh となり、それに対し、熱エネルギーの使用量は、生ごみ乾燥機運転における 40.5 Wh となった。コージェネレーションシステムにおける熱電併給割合を 1 : 1 と仮定すると、浄化槽運転に係る電気エネルギーが高く、生ごみ乾燥エネルギーは十分賄えるとともに、その差 116 Wh が余剰熱と推定される。これらの余剰熱の利用として、本研究では、上記で示したとおり、膜分離ユニットの加温に使用した。膜分離ユニットの加温に使用した熱エネルギーは、図 3-3-11 に示すとおりである。この結果から、膜ユニットを 40℃まで加温しても、図 3-3-10 で示した余剰熱で賄えると考えられた。ただし、水温 40℃において、硝化活性が低下するという現象とともに、汚泥発生抑制の効果も考えられる。これらの結果から、コージェネレーションシステムによる電気と熱の供給により、浄化槽の運転の他、低水温対策、生物活性の上昇、汚泥発生抑制に、効果があると考えられた。

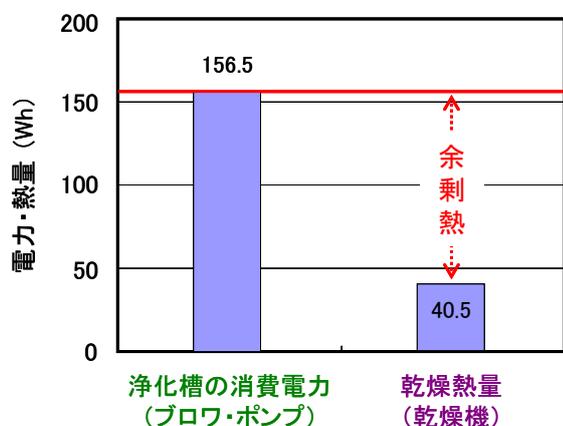


図 3-3-10 電力エネルギー使用量と熱エネルギー使用量

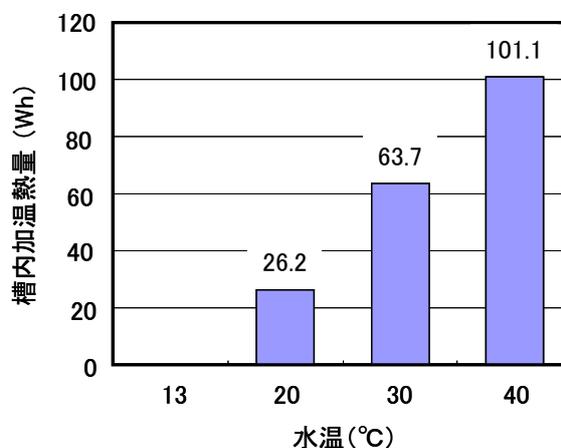


図 3-3-11 膜ユニットの加温に必要な熱エネルギー使用量

本研究では、避難所等での利用を想定した自立循環型浄化槽システムの構築について、検討を行った。その結果、節水トイレの導入による節水効果、ディスポーザとスクリーンの組み合わせによるスクリーンろ過効果、浄化槽設置現場における水温低下、処理水に混入する大腸菌等の調査により、自立循環型浄化槽システムの構築に必要な有用な知見が得られた。これらの知見を元に、自立循環型浄化槽システムモデルを構築し、生活排水、生ごみを導入し、実験を行った結果、生ごみの乾燥・減量が図れるとともに、そのシステムモデルからの処理水は、トイレ洗浄水（中水）への利活用が十分に可能なシステムを構築することができた。また、コージェネレーションシステムの適用について検討を行った結果、電気エネルギーの他、熱エネルギーの活用も視野に入れたシステムを構築することができた。

避難所における具体的なスケールを考える一例として、群馬県藤岡市では、小中学校 4 校の平均値で収容人数 470 人、最低限必要な情報収集等に要するエネルギーは 20 kWh となっている。節水トイレの排水量を中心として考えると、日汚水量は 15.7 m³（33.5 L/人・日）となり、本実験で用いたシステムの 15.7 倍（膜分離ユニット 47.1 m³、活性炭ユニット（貯留水槽を含む） 42.4 m³程度以下の規模になると考えられる。既に述べた通り、通常、小学校に設置する浄化槽の人員算定は定員×0.2 であることから、水量からみると 400 人弱（1 学年 65 人程度）の小学校の浄化槽と同程度である。さらに、モデル実験では 1.25 kg/日の生ごみ投入量であり、同じスケール（15.7 倍）で試算すると、少なくとも 19.6 kg/400 人＝50g/人・日程度の生ごみは対応可能と考えられた。また一般に、コージェネの廃熱は余剰傾向にあることから、生ごみ乾燥エネルギーは十分賄えるとともに、膜分離ユニットの加温の熱エネルギーも賄え

ると試算された。

これらの結果から、今後の開発の方向性としては、従来の考え方にはなかった排水処理への熱利用も考慮に入れ、排水処理に係る総合的なエネルギー削減を推進して行かなければならないと考えられる。

3.3. GISによる情報把握システムと災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築

3.3.1. 浄化槽被害情報調査システムの構築

GISを活用した被害状況確認と浄化槽台帳による情報集約化の確認システムの構築を目指し、GIS浄化槽台帳への被災情報ルーチンの組み込み、情報端末モバイルの作り込みなどのカスタマイズを進めているところである。本システムが構築された際のシステム全体の概念図は図3-3-1に示すとおりである。被災情報のモバイル入力フォーマットについては、環境省の「災害時の浄化槽被害等対策マニュアル(第2版)」に準拠した形で整理し、情報端末モバイルについては、個々の浄化槽情報の表示を可能とし、被災状況を把握できる写真等も検索可能なシステムを目指したものとなっている。

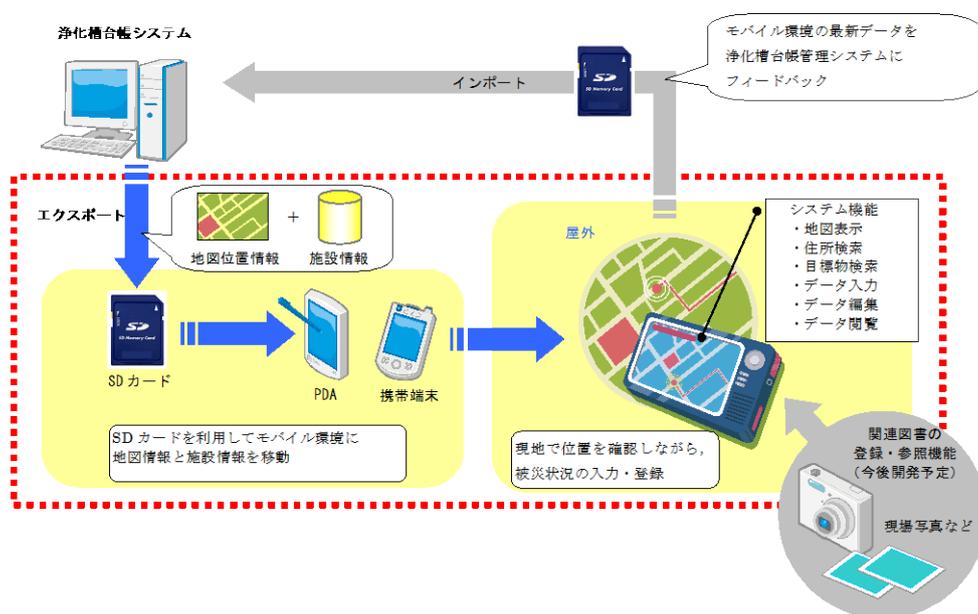


図3-3-1 浄化槽被害情報調査システムの概念図

3.3.2. 地域に即した平常時・被災時の輸送モデルの構築

東日本大震災における発災後の状況について情報収集を行った結果、仮設トイレを含めたし尿・汚泥の収集について、支援を含めた対策がなされていたものの、情報集約・伝達等の観点で収集・搬送が滞るケースが認められた。このような状況を踏まえ、減災を目的とする処理計画最適化を念頭に、発災前の対策として多目的貯留槽を整備することによる中長期的な対策および発災直後の迅速な対応に主眼を置いた仮設ピット導入による短期的な対応の2つの視点に基づく分析を試みた。

(1) ネットワークモデル

対象としたI県における構成市町村(33市町村)およびし尿処理施設(県内13施設A~M、隣接県9施設N~V)の輸送経路をモデル化すると図3-3-2に示すネットワークのようになる。ここで、し尿・汚泥の発生ノードは各自自治体の役所の所在地とし、近隣の自治体および処理施設に至る主要道路の距離をデータとして取り込んだ。各市町村から発生するし尿・汚泥の量を表3-3-1に、対象地域に整備された施設の規模を表3-3-2に示す。

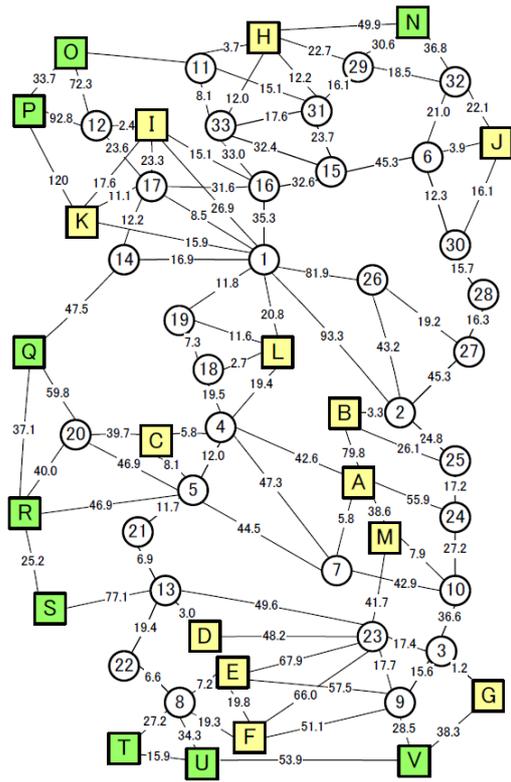


図 3-3-2 対象地域のネットワーク図

表 3-3-2 対象地域のし尿・汚泥処理施設の規模

	施設規模	余裕量	
		ton/day	ton/day
県内施設	A	61	
	B	193	
	C	250	
	D	276	
	E	160	
	F	100	
	G	130	
	H	112	
	I	145	
	J	105	
	K	170	
	L	170	
	M	84	
県外施設	N	335	43
	O	90	20
	P	160	19
	Q	60	13
	R	125	18
	S	160	28
	T	160	49
	U	128	0
V	130	22	

表 3-3-1 対象地域の各市町村から排出されるし尿・汚泥の量

市町村 No.	し尿発生量 (ton/day)		
	し尿	浄化槽汚泥	計
1	76	22	98
2	74	12	86
3	66	20	86
4	82	49	131
5	67	30	96
6	62	13	75
7	46	7	52
8	192	38	230
9	27	10	37
10	44	9	53
11	43	7	50
12	34	16	51
13	145	50	195
14	12	5	17
15	6	2	8
16	20	2	22
17	41	13	55
18	17	13	30
19	9	7	16
20	5	2	7
21	11	5	16
22	12	2	13
23	6	2	8
24	21	4	25
25	30	3	33
26	15	2	17
27	4	1	5
28	4	2	6
29	12	3	15
30	4	2	6
31	6	1	7
32	20	9	29
33	17	3	20
合計	1230	366	1595

(2) LP モデルの定式化と適用結果

各市町村から排出されたし尿・汚泥を各処理施設へ効率的に輸送するため、本研究で扱う輸送問題をLPによって定式化すると、以下のようになる。

$$\min \sum_i \sum_{j \in J} l_{ij} X_{ij} \quad \dots (1)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = Qi \quad \dots (2)$$

$$\sum_i X_{ij} \leq q_j \quad \dots (3)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad \dots (4)$$

ここで X_{ij} : 発生ノード i から処理施設 j への輸送量[kl/day], Q_i : 発生ノード i の発生量[kl/day], l_{ij} : 発生ノード i から処理施設 j までの最短距離[km], q_j : 処理施設 j の受入れ許容量[kl/day]とする。

表 2-3-1 で設定した災害時の処理シナリオにおいて、LP モデルを適用して輸送効率を最大化 (ton・km を最小化) した結果を表 3-3-3 に示す。

表 3-3-3 輸送効率性

ケース	輸送効率性 (ton・km)	相対値 1	相対値 2
Case A-1	14,657	1.00	-
Case A-2	49,523	3.38	1.00
Case A-3	48,759	3.33	0.98
Case A-4	44,839	3.06	0.91

構成自治体による現在の運搬先の実績から計算した ton・km は 20,939[ton・km]となり、caseA-1 の結果は実際の処理計画よりも改善が図られた状態となっている。被災前の caseA-1 と被災後に県内のみで処理を行う caseA-2 を比較すると、ton・km は約 3.4 倍に増加しており、震災被害による影響が大きく現れている。また、県外施設との共同処理に関して、県外の協力が不十分な caseA-3 では、caseA-2 に対する削減量がわずかであるが、十分な協力が得られる caseA-4 の結果は、県内のみで処理した caseA-2 と比較して 4,684[ton・km] (約 9%) 削減可能であることが読み取れる。

次に、LP モデルによって得られた各施設への輸送量を既存の施設能力で除した施設負荷率を計算した。この結果を詳細に考察するため、処理停止により受入れ不可の時は×、施設負荷率 0%から 50%の時に△、51%から 100%の時に○、101%~150%の時に◎、150%以上の時に☆とランク分けを行い、その結果を表 3-3-4 に示す。本研究では施設負荷率 101%以上となった施設に注意を払い、特に 150%以上を上回る施設は、震災後の拠点となる最重要施設として位置づけるものとする。このランク分けの結果から、被災後を想定した全ケースにおいて、施設 C、E、K の負荷率が高くなっていることがわかる。協力処理の度合に関わらず、該当する 3 施設が輸送効率を考える上で重要な拠点になると位置づけられる。今後の施設整備計画において当該 3 施設を優先的かつ重点的に整備することが実現すれば、震災時の処理の円滑な運用にも大きく貢献すると考えられる。また、caseA-1 と caseA-2 を比較すると、後者 (被災時のケース) では施設 H の依存度が高まっている一方、caseA-2 と caseA-4 の比較では、施設 H の負荷率が低下する代わりに県外施設 N および V の依存度が高まることわかる。このことから、協力処理の度合によっては、施設 H、N、V のいずれかの施設も重要な拠点になり得ることが明らかになった。

表 3-3-4 施設毎の負荷率の比較

	震災前		震災後	
	caseA-1	caseA-2	caseA-3	caseA-4
	県内処理	県内処理	協力処理 (消極的)	協力処理 (積極的)
A	○	×	×	×
B	◎	×	×	×
C	○	☆	☆	◎
D	○	◎	◎	○
E	☆	☆	☆	☆
F	△	△	△	△
G	◎	×	×	×
H	○	☆	☆	○
I	△	△	△	△
J	◎	×	×	×
K	○	☆	☆	☆
L	△	△	△	△
M	○	×	×	×
N			○	◎
O			○	○
P			○	○
Q			○	○
R			○	○
S			○	○
T			○	○
U			○	○
V			○	☆

x:停止, △:0%~50%, ○:51~100%, ◎:101~150%, ☆:150%以上

以上、し尿の輸送効率を考慮に入れ、震災時に対応した施設規模の在り方を検討した。現在の輸送・処理体制は様々な要因によって決定されたものであるため、分析結果を即時そのまま現実のシステムに反映させることは困難と思われるが、輸送 ton・km を最小化させる上で重要な意味を持つ施設が特定されたことは、防災・減災対策のみならず、老朽化施設に対する更新の優先順位や災害時協力協定等を検討する際の判断材料となり得る。また、今回の研究で重点を置いた輸送効率の向上は、震災時に限定されることなく、むしろ平常時における輸送負担の低減化にも直接的な関連性を有する。このように本論文で提案した LP モデルは、地域全体の処理システムをどのように整備すべきかといった課題の解決に寄与するところが大きいと判断する。

(3) 中継基地導入の効果分析

中継基地の導入効果を明らかにするため、輸送費用および施設整備費用からなる総費用の最小化と中継基地の配置箇所・必要容量の決定を目的とした広域的輸送計画について検討した。図 3-3-2 は中継基地を含む一次輸送・二次輸送のネットワークモデルである。

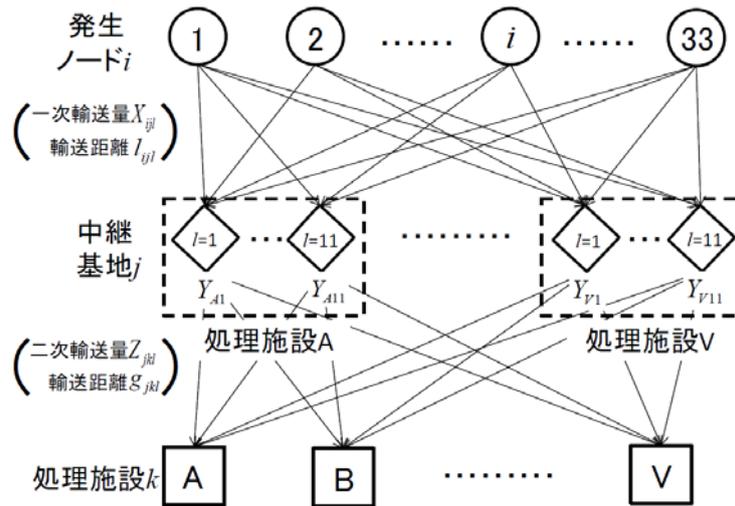


図 3-3-3 中継基地を含む一次輸送・二次輸送のネットワークモデル

中継基地の利用による広域的輸送計画モデルにおいて提案する MILP モデルを定式化すると、以下の式 (5) から式 (12) のようになる。

$$\min \sum_i \sum_{j \in J} \sum_l a_{ijl} X_{ijl} l_{ijl} + \sum_{j \in J} \sum_k \sum_l b_{jkl} Z_{jkl} g_{jkl} + \sum_l \sum_{j \in J} B_l Y_{jl} \quad \dots (5)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_l X_{ijl} = Q \quad (i = 1, \dots, m) \quad \dots (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_l X_{jkl} \leq q_k \quad (k = A, \dots, V) \quad \dots (7)$$

$$\sum_l Y_{jl} = 1 \quad \dots (8)$$

$$Y_{jl} (q_j + C_l) \geq \sum_l X_{ijl} \quad \dots (9)$$

$$\sum_i X_{ijl} = \sum_k Z_{jkl} \quad \dots (10)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \dots (11)$$

$$X_{ijl}, Z_{jkl} \geq 0 \quad \dots (12)$$

$$(J = \{j | A, B, \dots, V\}) \quad (l = 1, \dots, 11)$$

ここで、 X_{ijl} : 発生ノード i から中継基地 j への一次輸送量[kl/day]、 l_{ijl} : 発生ノード i から中継基地 j までの最短距離[km]、 Z_{jkl} : 中継基地 j から処理施設 k への二次輸送量[kl/day]、 g_{jkl} : 中継基地 j から処理施設 k までの最短距離[km]、 a : 発生ノード i から中継基地 j までの輸送単価[円/ton・km]、 b : 中継基地 j から処理施設 k までの輸送単価[円/ton・km]、 B_l : 中継基地 j に設置する第 l 番目候補の仮設ピット建設コスト[円]、 Y_{jl} : 中継基地 j に第 l 番目候補の仮設ピットを設置するか否かを表す 0-1 変数、 Q_i : 発生ノードの発生量[kL]、 q_j および q_k : 中継基地 j および処理施設 k の受入れ許容量[kL]、 C_l : 中継基地 j における第 l 番目候補の仮設ピット容量[kL]とする。式 (5) における g_{jkl} は、二次輸送に相当する走行距離を表したものであるが、一次輸送によって送られてきた量を当該施設で処理する際、 g_{jkl} をゼロとして計算処理される点が本モデルの 1 つの特徴となっている。

中継輸送のケーススタディでは、前述の被災シナリオと同じく県東部の 5 施設が停止の状況に陥ったものとして、県外施設への広域輸送を含む処理システムについて検討した。MILP モデルの式 (9) における

仮設ピットの容量 CI を当該施設規模の n 時間分とし、 $n=4$ から $n=12$ までの 1 時間毎とした 9 候補に、 $n=24$ と仮設ピットを設置しない条件である $n=0$ を加えた全 11 候補を設定した。さらに本研究では、中継輸送を積極的に取り入れた輸送計画とそうではない計画との違いを明らかにするため、二次輸送の一次輸送に対する相対的なコスト差によって複数の代替案を作成した。すなわち、二次輸送の導入ケースを段階的に設定するため、一次輸送単価に対して二次輸送単価を 0.1 倍から 0.9 倍まで 0.1 倍間隔で変化させた場合 (caseB-1 から caseB-9) の感度分析を行い、二次輸送単価が相対的に安価な条件で得られた代替案を二次輸送に「積極的」な輸送計画、その逆を二次輸送に「消極的」な輸送計画と定義した。

中継基地の有無による総費用の違いを明らかにするため、仮設ピットを一切設置しない場合の代替案として、MILP モデルの Y_{ji} を全て 0 に固定して適用した場合について計算を行った。一次輸送単価:126[円/ton・km]、二次輸送単価:58[円/ton・km]、1 基当たりの仮設ピット整備費:447[円/day]として MILP モデルを適用し、中継基地無しの計算結果と比較したものを表 3-3-5 に示す。なお、仮設ピットの設置費は、市場価格を参考に定めるものとし、365 日稼働するものと考えて 1 日当たりのコストに換算して扱うことにした。この表より、中継基地を導入した際、総費用に占める仮設ピット整備費はわずかな割合であり、大部分が輸送費用であることがわかる。さらに、中継基地を導入することで 4.5%の費用削減になることが示され、中継基地の導入による総費用の削減効果が確認できた。

表 3-3-5 施設毎の負荷率の比較

中継基地	費用			合計
	一次輸送	二次輸送	仮設ピット	
整備無し	7,397,674			7,397,674
整備有り	6,390,908	611,132	65,262	7,067,302

次に、二次輸送コストを仮想的に変化させた感度分析について、試算された費用の比較結果を図 3-3-3 に示す。ただし、caseB の各々の結果に対して二次輸送単価を 58 円に換算し直して図示し、現状の二次輸送単価で中継輸送の積極性の差異による比較を可能とした。この図より、caseB-1 から caseB-9 まで二次輸送コストを変化させると、二次輸送コストの比率を設定した意図通り、段階的に二次輸送の占める割合が増減変化することが確認された。また、二次輸送を適度に取り入れた代替案 (例えば、caseB-4 や caseB-5) は、二次輸送に消極的な計画案 (caseB-9) に比べてトータルの輸送コストが安価になるが、過度に二次輸送を取り入れた代替案 (caseB-1 や caseB-2) では総コストが悪化することが判明したことから、広域的輸送において経済性を高めるためには一次輸送と二次輸送のバランスに配慮した中継輸送が重要になることが示唆された。

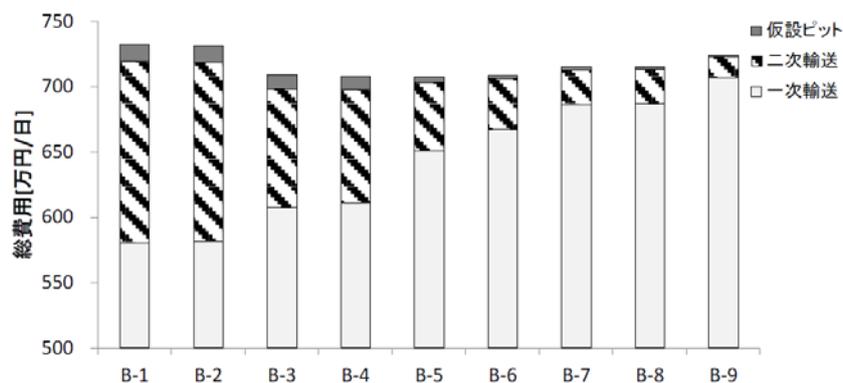


図 3-3-4 ケース毎の総費用の比較

ここで、現状の輸送単価 (二次輸送単価:58 円) を条件に MILP モデルを適用して得られた輸送計画案の詳細より、一次輸送で各発生ノードから近隣の施設へ輸送し、二次輸送で遠くの施設へ輸送する実際

の様子が確認できる (Data not shown)。本研究で設定した一次輸送と二次輸送の比率と、その感度分析の結果から、期せずして現状の二次輸送単価は、トータル輸送コストを最小化する caseB-4 にほぼ等しい関係であることから、現行のコスト体系は広域輸送を合理的に展開する経済的な条件として既に整っていることが示唆された。

最後に、二次輸送コストに関する感度分析を行った。各ケースにおける仮設ピットを設置する施設およびその容量について整理した結果、中継輸送の積極性に関わらず、施設 H が震災時における中継輸送の重要な拠点となることがわかる。また、中継輸送を積極的に行った場合には施設 C、E、K も重要な拠点となり、先の LP モデルの適用によって重要な拠点と判断された施設と同様の結果となる。ただし、中継輸送に消極的な場合には施設 H、R が重要となり、中継輸送の積極性の違いによって、重要な拠点が変化することが明らかとなった。

以上の分析結果から、し尿の収集・運搬に関する効率性を高める上で重要となる施設は、中長期・短期のいずれの視点によっても共通して候補に挙がることが明らかとなった。災害時に対応した廃棄物の保管、運送、処理および処分能力の確保は、本論文で対象としたし尿処理の問題に限らず、今後取り組むべき喫緊のテーマの 1 つである²⁰⁾。今回提案したモデルは、こうした重要な課題の解決に応用・発展させることが可能であり、将来の災害に対して強靱な社会の構築に資するツールと考えられる。

3.4. 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価

3.4.1. 汚水処理施設整備に関する東日本大震災の影響

(1) 住民基本台帳人口

被災3県の震災前後における市町村別、住民基本台帳人口について、年平均増減数を増加と減少をそれぞれ3,000人以上、1,500人以上～3,000人未満、500人以上～1,500人未満、1人以上～500人未満の4区分、計8階級に整理したものを図3-4-1に示す。また、震災前後における住民基本台帳人口の年平均増減率を、増加と減少それぞれ0.5%区分別に該当する市町村数を整理したものを図3-4-2に示す。

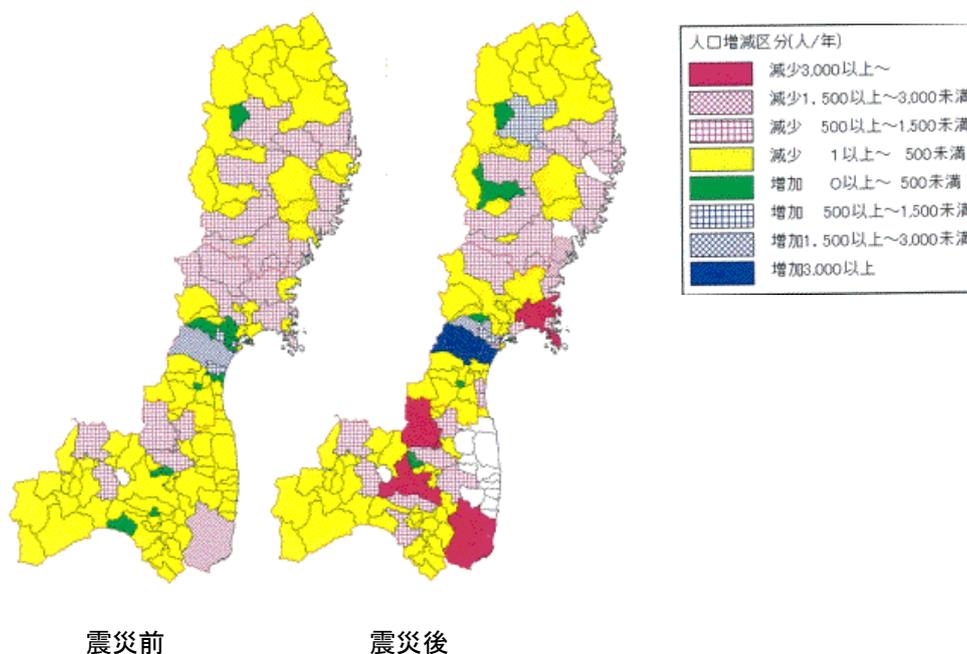


図3-4-1 震災前後における市町村別、住民基本台帳人口の増減状況

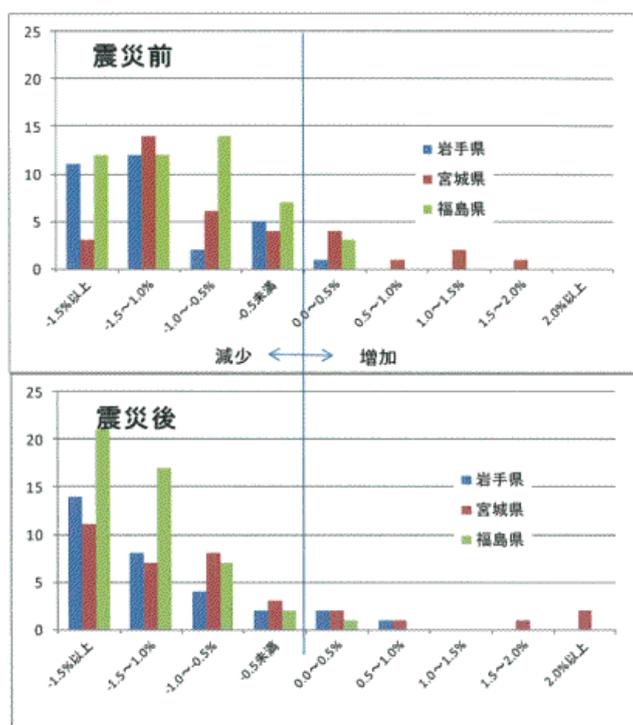


図3-4-2 震災前後における住民基本台帳人口の増減率区分別、市町村数の分布

岩手県全体では東日本大震災の影響はほとんど認められないが、市町村別にみると、津波被害の大きかった沿岸部の市町村では人口減少率が震災前より高くなる一方、内陸部の市町村では減少から増加、あるいは減少率が大幅に低下するなど、沿岸部から内陸部へ、中央部から北部、あるいは南部への県内移動が認められる。

宮城県全体の住民基本台帳人口は、岩手県と異なり、震災後の人口減少率が震災前の3倍以上高くなるなど、東日本大震災により人口減少傾向が加速されている。但し、震災前から人口が増加していた仙台市の都市圏はより人口増加率が高くなる反面、震災前から人口減少が認められていた地区のうち沿岸部は人口減少率がより上昇、内陸部(特に北部地区)は人口減少率が低下する傾向を示すなど、市町村ごとにその影響度合いは大きく異なっている。

福島県全体の住民基本台帳人口は、宮城県と同様、震災後の人口減少率が震災前の2倍以上高くなるなど、東日本大震災により人口減少傾向が加速されている。但し、原発事故の影響と考えられるが、人口減少率が大幅に増加する市町村がある一方で、市町村によっては人口減少率が低下するなど、その影響度合いは大きく異なっている。

(2) 汚水処理人口

被災3県の震災前後における市町村別、汚水処理人口について、年平均増減数を増加と減少をそれぞれ3,000人以上、1,500人以上～3,000人未満、500人以上～1,500人未満、1人以上～500人未満の4区分、計8階級に整理したものを図3-4-3に示す。また、震災前後における下水処理人口の年平均増減率を、増加と減少それぞれ0.5%区分別に該当する市町村数を整理したものを図3-4-4に示す。

東日本大震災で大きな被害を受けた岩手、宮城および福島3県における汚水処理施設の整備状況について、平成21年度末から23年度末における2年間の住民基本台帳人口、汚水処理人口、汚水処理人口普及率の変動を検討した結果、調査不能である13市町村を除いた114市町村は表3-4-1に示す5つのグループに分類された。

以上の結果は、避難者は住民基本台帳上の住所の変更がない限り避難元の市町村の住民として検討を行っている。そのため、今後の復興まちづくり事業の進捗状況や、復興住宅(災害公営住宅等)の建設場所や、高台移転などの住宅地の移転場所など、現在、応急仮設住宅等で避難生活を強いられている約31.5万人の被災者の方々かどの地域で生活再建を行うかによって、各市町村における汚水処理施設の整備状況は大きな影響を受ける。

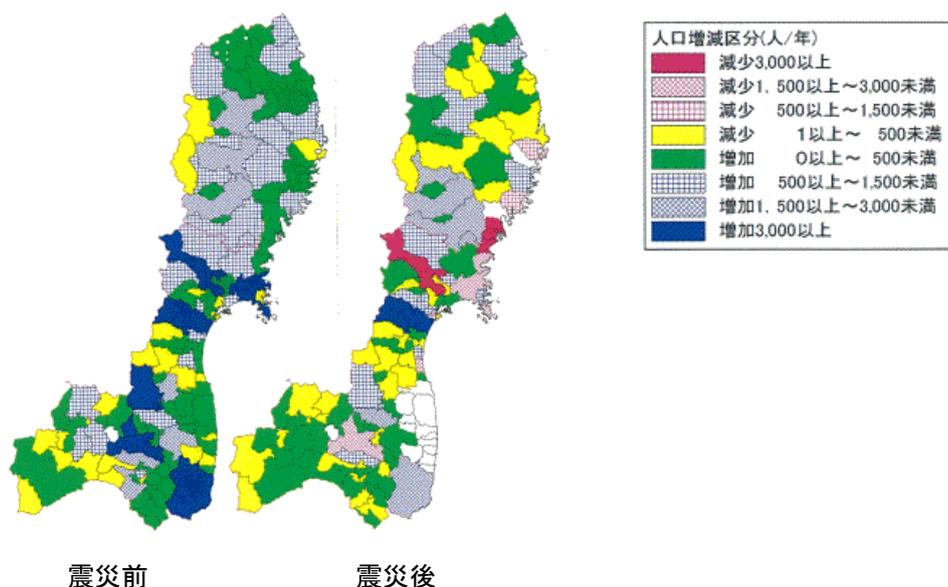


図3-4-3 震災前後における市町村別、汚水処理人口の増減状況

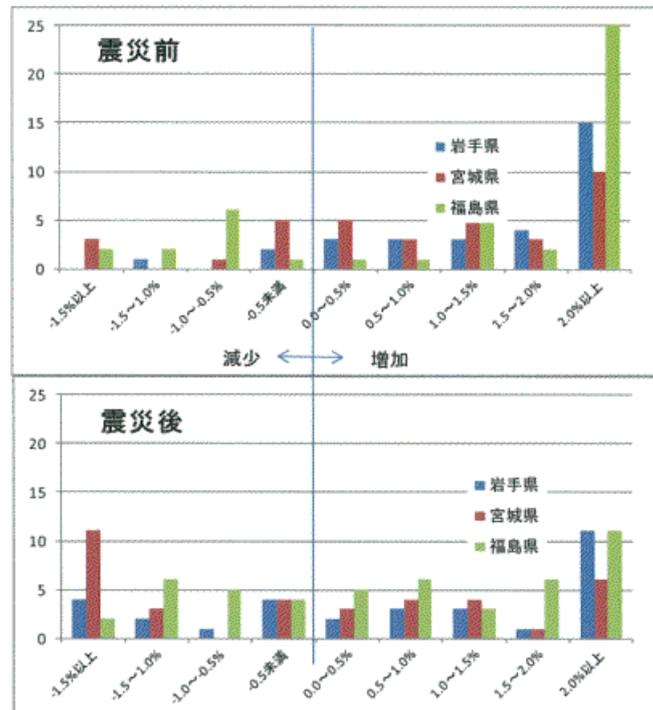


図 3-4-4 震災前後における下水処理人口の増減率の区分別、市町村数の分布

表 3-4-1 被災 3 県の汚水処理施設整備状況の推移

グループ	割合	概要	市町村
グループ1	9%	震災後も住民基本台帳人口と汚水処理人口のいずれもが増加し、汚水処理人口普及率も上昇している。	岩手県では盛岡市など3市町村、宮城県では仙台市など6市町村、福島県では大玉村の計10市町村
グループ2	4%	震災前に既に汚水処理施設の整備が完了あるいは概成していることから、震災後に住民基本台帳人口と汚水処理人口のいずれもが減少しているが、汚水処理人口普及率は変化していない。	宮城県の七ヶ浜町と塩竈市、福島県の檜枝岐村と湯川村の計4市町村
グループ3	51%	震災後には住民基本台帳人口が減少しているが、汚水処理人口が増加しているため汚水処理人口普及率は上昇している。	岩手県では一関市など17市町村、宮城県では名取市など11市町、福島県では福島市など30市町村の計58市町村
グループ4	26%	震災後には住民基本台帳人口と汚水処理人口のいずれもが減少しているが、汚水処理施設整備区域より未整備区域の方が住民基本台帳人口の減少数が多いため、汚水処理人口普及率は上昇している。	岩手県では花巻市など8市町村、宮城県では白石市など8市町、福島県では郡山市など14市町村の計30市町村
グループ5	11%	震災後には住民基本台帳人口と汚水処理人口のいずれもが減少し、かつ汚水処理施設未整備区域より整備区域の方が住民基本台帳人口の減少数が多いため、汚水処理人口普及率は低下している。	岩手県では大船渡市、山田町及び田野畑村の3市町村、宮城県では角田市、大崎市、気仙沼市、南三陸町、村田町、川崎町、色麻町及び山元町の8市町、福島県では平田村の計12市町村

特に、震災後、汚水処理人口が減少しているグループ4と5、合わせて42市町村、その中でも汚水処理施設未整備区域より整備区域の方が住民基本台帳人口の減少数が多いグループ5の12市町村では、下水道施設や農業集落排水施設等の集合処理施設整備区域内における人口減少傾向に歯止めがかかるか、増加に転じなければ、使用料収入が大幅に減少し、市町村財政に及ぼす下水道債償還の影響度合いがより大きくなる懸念される。

なお、「国土の長期展望」中間取りまとめ（国土審議会政策部会長期展望委員会、平成23年2月21日）によると、人口規模が小さくなるにつれて人口減少率が大きくなる傾向が見られることから、今後、更

新時期を迎える全国の中小都市の下水道施設の持続性を確保するために、被災3県における下水道等の集合処理施設整備区域内の人口動態が下水道経営にどのような影響を及ぼすのか、さらに持続的な経営を行うためにはどのような対策が有効なのかなどを継続的に注視する必要があると考えられる。

3.4.2. 災害時の復旧・復興を考慮した評価指標の検討

東日本大震災の教訓として学ぶべき点のひとつとして、汚水処理施設整備の評価に災害対応という観点を取り入れることであると考えられる。そこで、東日本大震災の被害状況解析等を元に、評価指標を議論・整理した。指標としては、被災時のトイレ使用の可否や公衆衛生への寄与、環境負荷、長期的な事業性、将来の被災時の復旧コスト・速度等が挙げられる。ここでは、1. 長期的な事業性、2. 将来の被災時の復旧コスト、速度、3. 災害時の公衆衛生、環境負荷の3つに分けて考え方を整理した（表3-4-2）。

表 3-4-2 災害対応・復旧を考慮した汚水処理施設の評価の方向性

評価指標	データソース
1. 長期的な事業性	・ 震災後の人口動態および汚水処理施設整備状況等
2. 将来の被災時の復旧コスト・速度	・ 災害復旧関係事業（下水道）、国土交通省公表資料等の統計・調査データ ・ 廃棄物処理施設災害復旧費補助金（市町村設置型に限る）、ヒアリング調査の結果
3. 災害時の公衆衛生、環境負荷	・ 国土交通省下水道部 下水道施設の被災状況と復旧の状況等の公表資料、統計・調査データ ・ 法定検査の公表資料、環境省公表資料等の統計・調査データ

(1) 長期的な事業性

3.4.1 で示した人口動態、汚水処理人口普及率を自治体毎に整理し、人口予測を精緻化していくことが重要である。特に、被災後の復旧を考えた場合は、災害による人口動態の急激な変化に留意し、過度な施設整備とならないよう留意する必要がある。

長期的な事業性を考慮する上では、平成24年度より国土交通省、農林水産省、環境省の3省が連携して設置した「都道府県構想策定マニュアル検討委員会」において、都道府県構想の徹底した見直しを加速させ、より効率的な汚水処理施設の整備および運営が進むよう、「持続的な汚水処理システム構築に向けた都道府県構想策定マニュアル（平成26年1月）」がとりまとめられた²¹⁾。ここでは、10年程度を目途とした人口減少を踏まえた見直しを図り、各種汚水処理施設の整備に関するアクションプランの策定を行うこととなっている。

(2) 将来の被災時の復旧コスト・速度

汚水処理施設毎の被害・復旧状況を見ると、終末処理場においては48箇所で稼働停止、72箇所で一部停止の状態が見られ、緊急避難的に沈殿処理のみで放流しているケースがあった。また、地震およびそれに伴う液状化等により、下水管きよでは132市町村等で681 km、19,624箇所のマンホールの被害があり、ポンプ場でも79箇所で稼働停止、32箇所で一部停止という状況であった。このような状況では、被災地のみならず、非被災地においても下水道の使用制限を余儀なくされた。

一方、浄化槽においても震度6弱以上の地域で3.8%が全損と判断される調査結果が環境省より示されており、それ以外にも異常が見つかったケースがあったが、浄化槽の補修は数日程度で済むことがほとんどであり、数ヶ月、数年というスパンで使用できない、または制限がかかるという状況は認められなかった。また、環境省のマニュアル²²⁾において、公衆衛生に影響を及ぼさない軽微な被害であれば暫定使用が認められていることから、分散型である浄化槽が地域一帯で使用できないという状況も考えづらい。

終末処理場については、大規模集中であるために、人や時間といったリソースを集中して復旧にあたるのが可能であり、軽微な被害であればすぐに復旧できると考えられるが、東日本大震災のように被害が甚大で会った場合、その復旧には数年という長期間を要することとなる。また、下水管きよは681 km、

マンホールは19,624箇所と膨大な数と範囲の復旧にあたる必要があり、これも一筋縄ではいかないことが容易に想像できる。同様に、分散型である浄化槽も個別に対応する必要があるため、リソースを分散して復旧にあたる必要があり、すべてを回るのに時間がかかる。但し、上述した通り、個々の補修は短期間ででき、また、地域一帯で使用できないということもない。このように、復旧にかかるリソースは汚水処理施設毎に特性があることから、今回の震災の復旧状況を中止しつつ、定量的な評価に繋げていく必要がある。

表 3-4-3 施設毎の被害・復旧状況

施設	被害状況	復旧状況
終末処理場	48 箇所で稼働停止、72 箇所で一部停止	沈澱処理（応急放流）
下水管きょ	132 市町村等で 681km（二次調査）	使用制限
ポンプ場	79 箇所で稼働停止、32 箇所で一部停止	使用制限
マンホール	19,624 箇所で被害	一時、溢水があった
浄化槽	3.8%が全損、24.6%が補修（震度 6 弱以上）	暫定使用、応急補修

復旧にかかるコストについて、東日本大震災における下水道災害査定の結果を見ると、被災 3 県で約 2,500 億円となっている（表 3-4-4）。これを各県の下水道人口で除した金額を一人当たりの下水道復旧コストと見なすと、3 県の平均は 7.2 万円/人となる（表 3-4-5）。下水道と浄化槽では諸条件が異なるが、目安として、①一人当たりの下水道復旧コストに浄化槽人口を乗じた金額と②浄化槽設置基数に被害割合を乗じた基数を算出し、①/②の金額と比べて、浄化槽一基あたりの補修費の方が低ければ、復旧コストとしては浄化槽の方が経済的となる。仮に、環境省調査で示された全損 3.3%を被害率として使用し、平成 22 年度末の浄化槽人口、設置基数で試算すると、浄化槽人口全体（65.3 万人）では約 473 億円となり、設置基数（167,499 基）×0.033=5,527 基で除すと、1 基あたり 855 万円の補修費を充当できることとなる。無論、全損には当たらないが補修が必要な浄化槽もあるが、逆に、環境省の調査は震度 6 弱以上の地域に絞って調査を行った結果であり、岩手県全体としては、軽微な被害を除いて、地震による浄化槽本体の被害は多く見積もっても 2%程度という報告もなされている²³⁾。

このように従来、下水道整備区域と浄化槽整備区域の分けについては、経済的合理性として家屋間距離などが示されているが、災害時の復旧コスト・速度等を考慮した場合、これまでの費用関数とは異なる考え方が必要となることが示唆された。

但し、一人当たりの下水道復旧コストを県別に見ると、岩手県、福島県は一人当たり約 2 万円程度であるが、宮城県においては約 12 万円と 6 倍も開きがあり、市町村毎ではさらに大きな開きがあると推察されることから、個別に精査していくことが望ましい。

表 3-4-4 下水道災害査定の結果（H24.3.21 時点）

	件数	決定金額（千円）
岩手県	55	13,902,412
宮城県	612	221,610,295
福島県	107	15,743,482
茨城県	199	14,860,546
東京都	11	3,016,581
千葉県	98	14,728,277

表 3-4-5 被災 3 県における一人当たりの下水道復旧コスト

	下水道災害査額 (千円)	下水道人口 (人)	一人当たり下水道災害査定額 (円)
岩手	13,902,412	691,600	20,102
宮城	221,610,295	1,800,916	123,054
福島	15,743,482	975,949	16,131
全体	251,256,189	3,468,465	72,440

(3) 災害時の公衆衛生、環境負荷

被災後の公衆衛生・環境汚濁負荷の評価については、浄化槽については環境省の被害状況調査や法定検査結果（7条、11条）、下水道については国土交通省の被害状況調査（終末処理場および管きょ、ポンプ場の被害状況）、関連する論文データを用い、汚濁負荷量の変化を試算することで、経時的・累積的に評価できると考えられる。

浄化槽について、岩手県における震災前後の法定検査（11条）の結果を図 3-4-4 に示す。震災後において、法定検査実施率はむしろ向上している状況であるため、被災浄化槽を避けて得られたデータでは無いと考えられる。震災前後の処理水 BOD 濃度に変化は無く、残留塩素非検出率も変わらないことから、岩手県においては、浄化槽の被災による環境負荷、汚濁負荷は極めて小さいものと推察された。

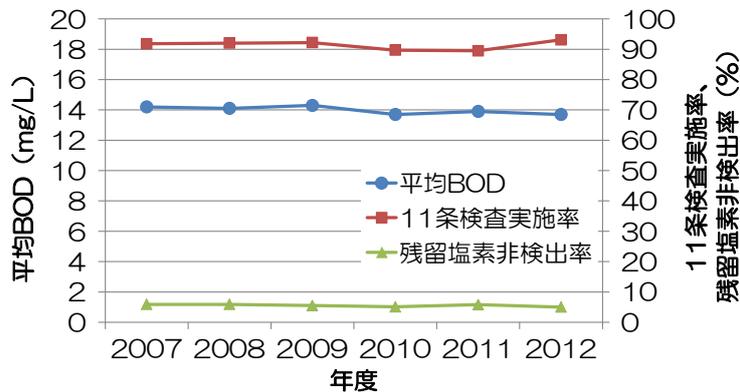


図 3-4-4 震災前後の法定検査（11条）の結果

一方で、国土交通省は、下水処理場における応急対応レベルを、レベル1：消毒のみ、レベル2：沈殿＋消毒、レベル3：生物処理＋沈殿＋消毒、レベル4：通常の処理の4段階に分けている。それぞれの処理水の BOD 濃度の目安は表 3-4-6 に示す通りである。東日本大震災における応急対応レベルの推移を見ると、発災から1年半の時点でもレベル3以下の施設が複数あり、発災直後には3ヶ月程度まで消毒のみで放流されていたことがわかる（図 3-4-5）。被災後の状況で、流量等のデータを取得することは困難であるが、一般の汚水量や直近のデータからの推計により、定量的な比較・解析が可能になるものと考えられる。

表 3-4-6 下水処理場における応急対応レベル（出典：下水道地震・津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書 東日本大震災における下水道施設被害の総括と耐震・耐津波対策の現状を踏まえた今後の対策のあり方（2012）²⁴⁾）

応急対応のレベル	処理方法	BOD (mg/L)
レベル1	消毒のみ	—
レベル2	沈殿+消毒	120
レベル3	生物処理+沈殿+消毒	40~100
レベル4	通常の処理	15

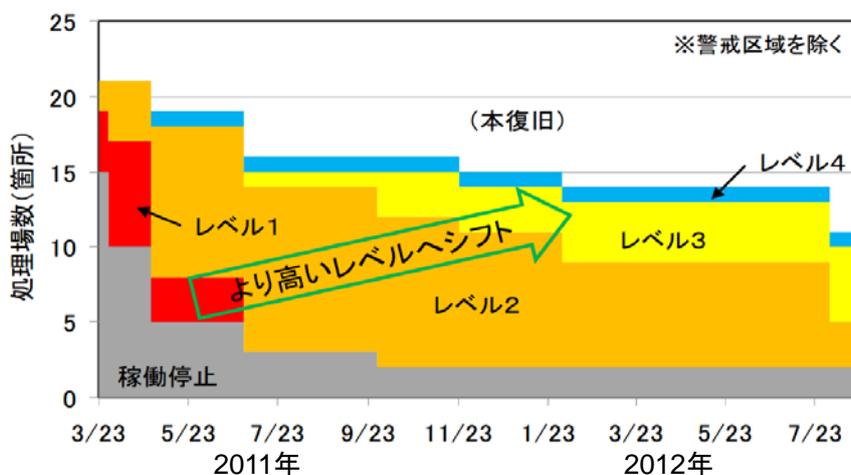


図 3-4-5 下水処理場における応急対応レベルの推移（出典：国土交通省、下水道施設の被災状況と復旧の状況（2012）²⁵⁾）

このように、災害対応・復旧を踏まえた汚水処理施設の評価を行う上では、それぞれの評価指標について、可能な限り定量的に提示し、今後の汚水処理施設整備の基礎情報として提供することが重要であると考えられた。

4. 結論

本研究では、東日本大震災の浄化槽等の被害状況を鑑み、①災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立、②避難所等での活用を想定した自立型浄化槽システムの確立、③GISによる情報把握と災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築、④災害対応を考慮した污水处理施設整備の評価に関する研究を実施した。得られた成果は以下の通りである。

(1) 災害対応型浄化槽の構造・施工方法の確立

1) 浄化槽の構造別の被害の詳細解析

東日本大震災による浄化槽の被害状況調査において、10施設以上調査された22型式(684施設)についての詳細解析を行ったところ、浄化槽の地震による被害は、型式により異なる特徴が示された。破損(漏水を含む)による被害には浄化槽の躯体の材質、製造方法、構造あるいは経年的な部品の消耗等が影響しているものと考えられた。浄化槽の浮上については、浄化槽の外形、容積等が影響因子として考えられるが、嫌気ろ床接触ばっ気方式の浮上率が比較的低いものが多かったことから、躯体の形状(縦横高さの比等)や重心が大きな因子となっていたものと考えられる。

2) 耐震性の高い構造・施工方法に関する検討

模型を用いた振動・液状化実験により、浮上防止の観点では、全体の重心を低くしつつ、躯体は平坦な面の組み合わせとするか、面積の広いリブを設けた構造とするのが望ましいと考えられた。また、砂利および砂を埋設土として用いた実験では、砂利よりも締固めた砂による埋設のほうが模型の浮上防止に有効であった。

また、減災に有効な施工方法(埋め戻し方法)については、埋戻し土を固化させる方法として、セメントのほか樹脂や粉塵飛散防止剤の適用の可能性について検討したところ、それぞれに一定の効果が見られたが、コストを考慮した最適化や費用対効果分析が重要と考えられた。また、碎石による埋め戻しによる液状化防止方法は、独立気泡構造の圧力緩衝材により碎石の尖った部分が浄化槽と点で接した場合においてもその荷重を分散させる効果があることが明らかとなった。しかし、突き固めの仕方によっては点状に瞬時荷重が加わる場合もあることについても明らかとなり、浄化槽を破損させないような突き固め方法・基準について検討を行う必要があると考えられた。

管きよと本体の破損し難い接続方法については、屋内において配管を排水ヘッダーにより集水し、その近傍に設置された浄化槽とフレキシブル管で接続することが、流入管きよの破損を最も防止できるものと考えられた。

3) 被災浄化槽の補修に関する検討

被災浄化槽の補修に関するヒアリングを行ったところ、被害は躯体と配管の接続部の被害が多く、フレキシブル配管などによる被害の軽減の検討が必要との指摘があった。修理においては、適切な技術者の不足あるいは費用がないため修理できないといった事例があった。また、浄化槽の被害防止についてこれまで有効と認識されてきた支柱工事や浮上防止バンドの設置は、浄化槽の浮上を抑制する効果は認められるものの、圧力の逃げ場が無いため、躯体や内部設備の破損も認められていた。

簡易な応急対応方法として破損箇所への樹脂の吹き付け法は、本来のFRPの補修方法に比べ簡易な対応には適さなかった。一方、補修シートによる躯体破損部分の簡易的な補修法は、補修シート貼付け面の樹脂をより軟質にし、浄化槽の点検口から目視できる位置であれば、作業員が槽内に侵入しなくても応急的に止水ができる可能性が示された。

4) 浄化槽の耐震性評価基準の検討

本研究を契機に、浄化槽の耐震構造や耐震施工方法に関する基準を策定するべく、国内唯一の浄化槽の性能評価機関である(一財)日本建築センターの協力を得て、基準化・評価の検討を進めている。建築物としても過去に例の無い地下埋設された地上部との強固な接合部分がほとんど無い浄化槽については、すぐに基準化できるものではないが、これまでの議論において、既存の浄化槽の耐震性を適切に評価するとともに、絶対に壊れない浄化槽ではなく、暫定使用が可能となるレベルを目指した基準策定の方向性を検討してきている。

(2) 避難所等での活用を想定した自立型浄化槽システムの確立

1) 自立型浄化槽システムの基本設計

この際、避難所等に節水トイレを導入することで43.2%の節水効果が期待できると試算され、水使用量削減と排水処理水量削減の両面から有効であることが明らかとなった。一方、既存の浄化槽処理水を20現場で調査した結果から、処理水の再利用基準である大腸菌をゼロで担保することは困難と判断し、本研究では、膜分離法を選択し、モデル試験槽を構築した。

2) 自立型浄化槽システムのモデル試験

モデル試験の結果、運転開始当初より、BOD等の一般水質項目は良好であり、排水再利用のための水質基準値への適合性も確保できた。また、腐敗性有機物としての生ごみについて、自動微細目スクリーンを通過させることにより、固形物の94%が除去され、その後の乾燥（コージェネ廃熱の利用を想定）により、重量比で80%、体積比で74%の生ごみ削減効果があり、長期的、衛生的な保管が可能であることを確認できた。更に、浄化槽をコージェネ廃熱の需要源として捉え、冬季を想定した13℃から40℃まで槽内水温を上昇させたところ、30℃までは微生物活性が上昇することが確認されたが、熱需要源としてさらに効果的に活用するためには、温度に対する馴致や加温場所の最適化等が必要であることがわかった。但し、このとき汚泥発生量は低下していたことから、汚泥の減量化や長期貯留という付加価値の可能性を示唆するものと考えられた。

自立循環型浄化槽システムモデルの電気エネルギー使用量および熱エネルギー使用量を調査した結果、モデル実験では、1.25 kg/日の生ごみ投入量であり、想定として、収容人数470人の避難所でのスケール（15.7倍）で試算すると、少なくとも19.6 kg/400人=50g/人・日程度の生ごみは対応可能と考えられた。また一般に、コージェネの廃熱は余剰傾向にあることから、生ごみ乾燥エネルギーは十分賄えるとともに、膜分離ユニットの加温の熱エネルギーも賄えると試算された。これらの結果から、コージェネレーションシステムによる電気と熱の供給により、浄化槽の運転の他、低水温対策、生物活性の上昇、汚泥発生抑制に効果が期待できる。

これらをまとめると、コージェネレーションによる熱電併給と膜分離法による処理水循環により、災害時にも水洗トイレを使用可能なシステムを構築できた。また、節水トイレの導入による節水効果、腐敗性廃棄物のスクリーンろ過効果、廃熱利用による腐敗性廃棄物の訂正処理、浄化槽の微生物活性向上といった有用な知見が得られた。これらの知見を元に、今後の開発の方向性としては、従来の考え方にはなかった排水処理への熱利用を考慮に入れつつ、避難所全体の総合的なエネルギー効率向上を含めた実証を推進していくことが重要と考えられた。

(3) GISによる情報把握と災害時のし尿・汚泥輸送モデルの構築

1) 浄化槽被害等情報調査システムの検討

GISを活用した被害状況確認と浄化槽台帳による情報集約化の確認システムの構築を目指し、GIS浄化槽台帳への被災情報ルーチンの組み込み、情報端末モバイルの作り込み等のカスタマイズの検討を進めた。今後、開発中の被害状況調査システムや収集運搬シミュレーションとの連携を進めるとともに、東北被災3県の浄化槽関連団体等との意見交換を通じて、平常時・災害時に活用可能な情報管理システムの構築を図ることとしている。

2) 地域に即した平常時・被災時の輸送モデルの構築

対象としたI県における構成市町村（33市町村）およびし尿処理施設（県内13施設A～M、隣接県9施設N～V）の輸送経路をモデル化し、LPモデルおよびMILPモデルによって、中継基地の導入効果を含めて最適化計算を行った。その結果、被災前の最適化計算では、構成自治体による現在の運搬先の実績よりも効率的な試算結果が得られた。大規模災害時にはし尿・汚泥の輸送能力が平常時の3倍程度必要であった。一方、施設毎の負荷率の計算から、施設C、E、Kの3施設が重要な拠点であることが明らかとなり、適切な容量の貯留槽を整備することにより、円滑な運用に大きく貢献することがわかった。また、中継輸送の効果をMILPモデルで評価したところ、中継基地の導入による総費用の削減効果が確認できたが、中継輸送への積極性の違いによって重要視すべき拠点が変化することなどが明らかとなった。

このようなアプローチにより、平常時の輸送最適化を図るとともに、被災時に必要となる輸送能力を事前に把握することが可能であり、市町村間の災害協力協定をどのように結ぶべきかといった防災計画の策定等においても有用であると考えられた。さらに、被災時の有用性の向上および平常時の効率的な運用を図る意味で、し尿・浄化槽のみならず、上下水道、ガス、電気等の社会インフラと同じシステム基盤を共有していくことが重要であると考えられた。

(4) 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価

1) 汚水処理施設整備に関する東日本大震災の影響

東日本大震災で大きな被害を受けた岩手、宮城および福島3県においては震災後、汚水処理人口が減少している自治体は42市町村存在していた。人口減少傾向に歯止めがかからなければ、使用料収入が大幅に減少し、市町村財政に及ぼす下水道債償還の影響度合いがより大きくなることが懸念された。人口規模が小さくなるにつれて人口減少率が大きくなることから、被災3県における下水道等の集合処理施設整備区域内の人口動態が下水道経営にどのような影響を及ぼすのか、さらに持続的な経営を行うためにはどのような対策が有効なのかなどを継続的に注視する必要があると考えられる。

2) 災害時の復旧・復興を考慮した評価指標の検討

東日本大震災の被害状況解析等を元に、1. 長期的な事業性、2. 将来の被災時の復旧コスト、速度、3. 災害時の公衆衛生、環境負荷の3つに分けて考え方を整理した。下水道と浄化槽では諸条件が異なるため目安ではあるが、県毎の大雑把な試算では、3県平均の下水道復旧コスト7.2万円/人に対し、浄化槽1基あたりに充てられる補修費は855万円と非常に大きな金額となった。市町村毎に個別に精査していく必要があるが、下水道整備区域と浄化槽整備区域の線引きは、これまでの費用関数とは異なる考え方が必要となることが示唆された。

被災後の公衆衛生・環境汚濁負荷の評価については、浄化槽の法定検査結果等から、浄化槽の被災による環境負荷、汚濁負荷は極めて小さいものと推察された。一方で、下水処理場では長期に渡って応急対応を強いられており、一般の汚水量や直近のデータからの推計を行うことで、定量的な比較評価を行っていくことが可能と考えられた。

今後の課題

- 災害対応型浄化槽の構造・施工・補修方法
 - － 実用化に向けた実大試験等の実施
 - － 環境省「災害時の浄化槽被害等対策マニュアル」等への追補に必要なデータの拡充
- 浄化槽の耐震性評価
 - － (一財)日本建築センターの実施しているFRP評価(FRP構造に係る技術審査)の一環としての位置づけ
 - － 国内外で耐震構造や耐震施工方法、災害時の公衆衛生確保の効果を明示と、国際基準化も視野に入れた浄化槽の海外展開への波及
- 避難所仕様の自立型浄化槽
 - － 設計したシステムの実証的試験
 - － 避難所運営の様々なシナリオについて検討・評価
- 支援システム
 - － 浄化槽被害等情報調査システムの構築を進め、環境省のGIS台帳整備事業との連携による平時の浄化槽行政・維持管理等の効率化
 - － 震災後の時間経過に伴うし尿・汚泥発生量の増減、し尿処理施設の復旧状況、道路状況等を輸送モデルへ反映させるための仕組み作り
 - － し尿・汚泥の輸送モデルを活用した災害時の協力協定等に向けた関係者の議論
 - － 上下水道や電力・ガス供給、道路交通網の管理等とも連携したシステム化による社会インフラの統合的・効率的な運用の検討
 - － 災害対応・復旧を踏まえた汚水処理施設整備のあり方の提示

謝辞

本研究を遂行するにあたり、下記の方々に多大なるご協力頂きましたこと、ここに記して謝意を表します。また、日本上下水道設計（株）の田崎滋久氏（2013年6月逝去）には、研究期間の途中まで研究分担者として携わって頂きました。この場をお借りして、深く御礼申し上げます。

荒井康裕氏 首都大学東京
酒谷孝宏氏 (一社) 浄化槽システム協会
中川良男氏 (一社) 全国浄化槽団体連合会
齊藤 眞氏 (一財) 日本環境衛生センター (当時)
井上廣輝氏 (一財) 日本建築センター
伊藤豊治氏 (一財) 消防科学総合センター

(公社) 岩手県浄化槽協会
(公社) 宮城県生活環境事業協会
(公社) 福島県浄化槽協会

5. 参考文献

- 1) 環境省：東日本大震災における浄化槽の被害状況（平成 23 年 6 月 6 日）（2011）
- 2) 下水道既設管路耐震技術協会：非開削による地震対策 3 工法(パンフレット)、pp.1-4（2012）
- 3) 館山勝：地盤の液状化程度の推定と構造物の沈下の影響、第 219 回鉄道総合技術研究所月例発表会特集要旨、pp.1-4（2009）
- 4) 液状化対策技術検討会議：液状化に関する強震記録分析結果、国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター、pp.1-15（2012）
- 5) 船原英樹、宇野浩樹、立石章：液状化解析技術 -3 次元解析および 2 次元解析の適用事例-、大成建設技術センター報 第 37 号、pp15-1~15-8（2004）
- 6) 清水惇：液状化地盤の杭基礎周りの流動に関する実験と数値解析、筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文、pp5-35（2009）
- 7) 岡二三生：側方流動液状化に伴う地盤の流動、JSCE、Vol.84、p108（1999）
- 8) 金哲鎬、藤井衛、小川正宏：戸建住宅を対象とした地下水水位測定に基づく液状化の概略判定、東海大学紀要工学部特別号、vol.51、No.1、pp.111-116（2011）
- 9) (社)地盤工学会：平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震調査報告書、158p（2010）
- 10) 稲村成昭、山崎宏史、西村修：浄化槽における水温の履歴と処理水 BOD の関係解析、日本水環境学会誌、36(4)、pp.123-127(2013)
- 11) 環境省：平成 24 年度応急仮設住宅における浄化槽の施工および維持管理に関する調査業務報告書、176p（2013）
- 12) (財)日本建築センター：ディスポーザーによる生ごみリサイクルシステムの開発（1999）
- 13) 井土将博：コンサルタントの立場から見た『災害廃棄物処理計画』のあり方、廃棄物資源循環学会誌、Vol.24 No.6、pp.434-441（2013）
- 14) 西出成臣、荒井康裕、小泉明、田崎滋久：混合 I P モデルによるし尿・浄化槽汚泥の広域処理計画に関する一考察、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 I、pp.296-298（2004）
- 15) 大垣眞一郎：新しい科学・技術としての災害研究、廃棄物資源循環学会誌、Vol.24、No.6、pp.401-402（2013）
- 16) 復興庁：全国の避難者等の数、復興庁公表資料（平成 25 年 2 月 15 日）（2013）
- 17) 復興庁：全国の避難者等の数、復興庁公表資料（平成 26 年 3 月 27 日）（2014）
- 18) 豊貞佳奈子、清水康利、飯尾昭彦、坂上恭助：節水便器普及による環境負荷削減効果の定量化研究、空気調和・衛生工学会論文集、193、pp.1-8（2013）
- 19) (財)日本建築センター：浄化槽の構造基準・同解説（2006）
- 20) (独)国立環境研究所：災害環境研究の俯瞰 震災からの復興と環境創造のために（2012 年度 4 月版）、35p（2012）
- 21) 国土交通省、農林水産省、環境省：持続的な汚水処理システム構築に向けた都道府県構想策定マニュアル（平成 26 年 1 月）（2014）
- 22) 環境省：災害時の浄化槽被害等対策マニュアル第 2 版（平成 24 年 3 月）（2012）
- 23) 稲村成昭：東日本大震災による被災浄化槽の応急対応と復旧について、月刊浄化槽、vol.447、5-15（2013）
- 24) 下水道地震・津波対策技術検討委員会：下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書 東日本大震災における下水道施設被害の総括と耐震・耐津波対策の現状を踏まえた今後の対策のあり方（2012）
- 25) 国土交通省：下水道施設の被災状況と復旧の状況（2012）

6. 研究発表

論文発表

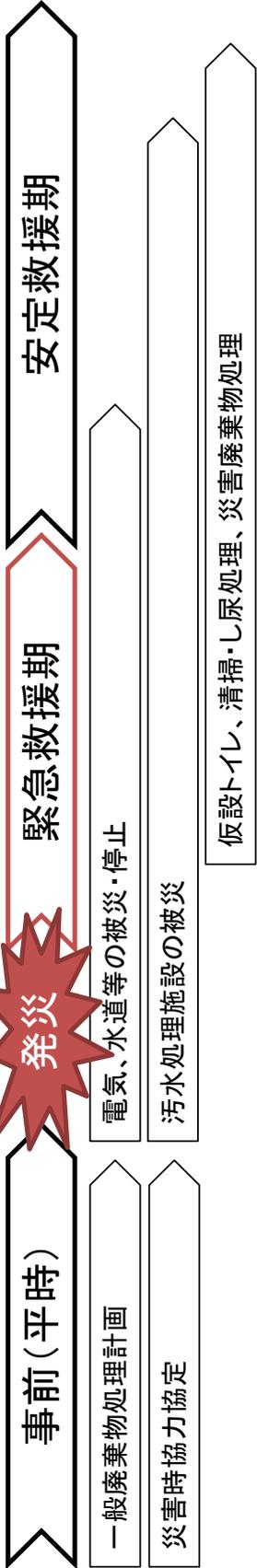
- 1) 荒井康裕、梅沢元太、稲員とよの、小泉明、蛭江美孝（2014）災害時における減災を考慮した広域し尿処理の最適化計画、環境システム研究論文集、印刷中
- 2) 仁木圭三、蛭江美孝（2014）浄化槽における液状化対策に関する模型実験、浄化槽研究、26(1)、1-9

学会発表等

- 1) 山崎宏史、蛭江美孝（2014）避難所での使用を想定した自立循環型浄化槽システムの構築に関する検討、第 48 回日本水環境学会（仙台）、同講演要旨集、434.
- 2) 蛭江美孝、仁木圭三、山崎宏史、田崎滋久（2013）災害対応型浄化槽技術に関する研究、第 27 回全国浄化槽技術研究集会（宮崎）、同講演集、50-53.
- 3) 蛭江美孝、梅沢元太、荒井康裕、田崎滋久（2013）GIS を活用した被災時状況把握と復旧支援システム、第 27 回全国浄化槽技術研究集会（宮崎）、同講演集、40-44.
- 4) 山崎宏史（2014）避難所での利用を想定した自立循環型浄化槽システムの構築、第 18 回環境の保全と緑化に関わる資材・技術研究会（金沢）
- 5) 蛭江美孝、山崎宏史、仁木圭三、国安克彦、田崎滋久、齊藤眞（2012）被災時の衛生環境確保のための防災・減災を志向した浄化槽システムに関する研究、平成 24 年度廃棄物資源循環学会研究討論会（東京）、同講演集、p.98.

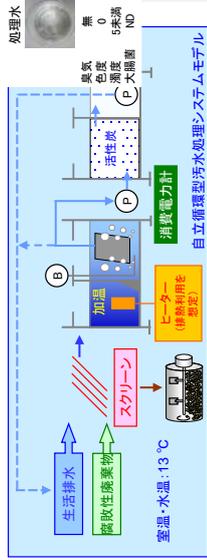
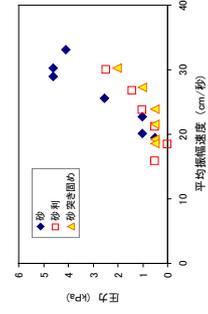
7. 知的財産権の取得状況

なし



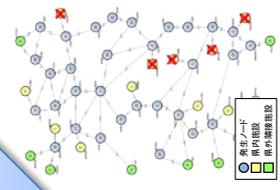
サブテーマ1 災害対応型の構造・施工およびその評価方法の確立

- 被害状況の型式別詳細解析、モデル試験等を実施し、耐震型の構造・施工方法、補修方法をまとめた。
- 暫定使用可能な状態を確保可能な基盤技術・耐震基準の確立を進めた。



サブテーマ2 避難所仕様の自立型浄化槽

- 災害時にも水洗トイレを使用可能とし、自立型浄化槽システムモデルを構築し、性能評価を行った。
- 腐敗性廃棄物の適正処理を含めた電気・熱エネルギー収支の試算を行った。



サブテーマ3 情報把握とし尿・汚泥輸送モデルの構築

- 平時および被災時のし尿・汚泥の効率的な搬送のモデルを構築した。
- 最適化シミュレーションにより、被災時には数倍の輸送能力が必要になることを示した上で、輸送効率を向上させる広域配分や仮設ピットの最適な設置場所等を提示した。



サブテーマ4 災害対応を考慮した汚水処理施設整備の評価

- 汚水処理施設整備における災害時の対応性や復旧コスト等を踏まえた考え方を提示した



防災・減災を志向した分散型浄化槽システムの構築

9. 英文概要

Title of the research

“Establishment of a disaster reduction oriented decentralized Johkasou system”

Representative of the research:

Yoshitaka Ebie (National Institute for Environmental Studies)

Collaborative reserchers:

Keizo Niki (Japan Education Center of Environmental Sanitation)

Hiroshi Yamazaki (Ibaraki Pharmaceutical Association Inspection Center)

Abstract:

The Great East Japan Earthquake has brought about enormous damage to wastewater treatment facilities. The purpose of this research is to help make Japan more robust with decentralized wastewater treatment technology “Johkasou”.

In this study, development and standardization of earthquake-resistant construction and installation techniques of Johkasou was conducted. Based on the damage data characterization of 22 types of Johkasou, distinctive features of damage were found for some types. In order to develop earthquake-resistant techniques, Johkasou model was used for the experiment of liquefaction. These experiments revealed that appropriate compaction of soil and some other installation techniques make Johkasou more earthquake-resistant.

In addition, energy and water independent Johkasou system for refuge was designed and developed. The recycled water may be free of *Escherichia coli* according to standard for water recycling, and membrane separation was selected. Our system consists of screen unit, membrane separation unit, activated carbon adsorption unit, and cogeneration unit. Effluent water of this system meets the standard from the early period of the experiment even in the low temperature experiment. Loss of weight and volume of perishable organic waste such as kitchen garbage was separated by screening and drying to ensure long-term storage. Simulation of electricity and heat balance revealed that drying perishable organic waste, warming up wastewater in Johkasou can be achieved by use of waste heat utilization in cogeneration system.

Mathematical model was used to show optimum way to transport human waste and Johkasou sludge in case of emergency. When optimizing simulations were performed, the proposed models made it possible to determine the core facilities and the capacities of equalization tank. The study also succeeded in quantitatively indicating the transport cost savings when transfer stations are introduced.

From the perspective of disaster response, evaluation index for wastewater treatment facilities were proposed. We concluded that cost function of centralized sewerage system and decentralized Johkasou system should include disaster response.

参考資料

(参考資料) 岩手県における被災浄化槽ヒアリング調査結果

(1) 調査先 A

① 震災後の対応状況

- ・ 最初の修理は震災後1週間過ぎにあった(修理は10日目後から)
- ・ ガソリンは手に入り難かったが、軽油は入りやすかった
- ・ 3~7月は20基/月(4基は鏡部の破損)、H24年12月ころまで10~20基/月の修理があった。
- ・ 震災後の汲取りは問題なかった。ただし、修理の日程には影響する場合があった。また、土砂などの流入があれば、汲取りの後、ダンパー(産廃)が必要な場合もあった。
- ・ 修理が必要な施設数が多いので優先順位を判断する必要があった。基本的には、内部破損は後回しとなる。また、修理を待ってられない場合は新規入れ替えの場合もあった。

② 被害の状況と修理方法

- ・ 漏水(土砂も槽内への流入)がほとんどである。そして、いまだに漏水がある。破損箇所は側面、鏡部、底部の下部、仕切り板が多い(上部はあまりない)。また、型式により同じ場所が破損する傾向がある。破損部分より土砂が流入(埋め戻しの砂は崩れやすい)する。
- ・ ろ材の浮上・落下も多い。
- ・ エアー配管の被害は少ない
- ・ 新規入れ替えか修理の目安は修理費が15~17万/基(10人槽以下の場合)程度ではないかと思う。
- ・ FRPは修理できないものはないが、ジシクロペンタジエンは溶着が必要なため修理しない

③ 被害の要因

- ・ 地域的には県内陸南部(一関、室根、千厩)の被害が多く、被害施設は一定の線上に(断層上)あるように感じた。
- ・ 浄化槽の近くに法面(斜面)があると土圧が発生しやすく、躯体破損の要因となる。
- ・ 古い浄化槽の場合、FRPの劣化がある
- ・ スロッシングによる影響は大きい浄化槽ではあるかもしれない。

④ 応急対応の方法

- ・ 仮設トイレの設置
- ・ 雑排水のみの簡易処理(ぼっ気のみ)

⑤ 修理に必要な部材

- ・ 修理部材：ガラス繊維、パテ、樹脂
- ・ 土工事が伴う場合：重機、矢板
- ・ 安全面：囲い、ネット、槽内に入るときは必ず2~3人で修理

(2) 調査先 B

① 震災後の対応状況

- ・ 震災後2週間目から修理などの対応が可能であった。また、1ヶ月後から被害の大きい浄化槽の対応も可能となった。しかし、通常対応までは半年ほど掛かった(エアー配管のアセンブリなどが手に入りにくかった)。
- ・ 新設交換と修理では一般に浮上・破損は修理の方が安い。また、掘り起こしの作業はリスクが大きい(基礎・斜面の近く、地山の更なる掘削)。

② 被害の状況と修理方法

- ・ FRPの被害がほとんどで、漏水、亀裂、内部破損(エアー配管など)が大部分である。また、漏水は半年、一年してから確認する場合がある。修理した基数はおおよそ90基程である。
- ・ ジシクロペンタジエンの躯体などの被害はない。ただし、浮上などにより流入、流出管接続部の破損はある。
- ・ 内部破損、仕切り板(剥がれ、亀裂)は大型ほど多い。また、プレス成形の仕切り板(はめる形)は被害が少なく、FRPで張ったものは剥がれやすい。
- ・ 流入、流出接続部のフランジでの漏水がある。
- ・ 消毒筒受け部の破損が多い。

(参考資料) 東北被災 3 県におけるヒアリング調査結果

- ・ 津波の被害では、ブロワは交換となる。
- ③ 被害の要因
 - ・ 地盤の影響が大きいと思われる。湧水がある施設はあまりない。
 - ・ 埋め戻し方法の影響が大きい。(発泡スチロールを敷き、山砂で埋めるとよいのでは)
 - ・ スロッシングによる影響は 100 人槽以上で被害が発生(管体になっている場合)しやすいと思われる。
- ④ 応急対応の方法と必要な部材
 - ・ 消毒のみで暫定使用(住民の生活優先で対応)。
 - ・ 仮設トイレは使用しなかった(外トイレや近所のトイレを使用)。
 - ・ エアー配管はテーピングとソケットで対応した(ホースとバルブ類が必要)。
 - ・ ポンプ配管の破損は露出配管で対応した。
 - ・ 薬筒受け部の破損は持っているボルト・ナットで対応した。
 - ・ 応急対応に必要な部材としてはホース、テープ、塩ビ配管、バルブ類、ボルト・ナット
- ⑤ その他
 - ・ 槽内に入るときは複数で工事している。また、最大余震(4/7)の後では修理は様子見となった。
 - ・ 震災後に安全規定の見直しはとくになし。

(3) 調査先 C

- ① 震災後の対応状況
 - ・ 震災後、設置者より浮上や周囲の陥没の電話があり、震災後 4 日目から浄化槽への対応を行なった。本格的な修理は 6 月ころからで復旧は秋まで掛かった。このため、通常の点検が遅れた。
 - ・ ガソリン・軽油とも 2~3 週間は非常に入りにくかった
 - ・ 重機の手配も困難だったため、手掘りしたものもあった。
 - ・ 浄化槽の廃棄処分は特に問題はなかった
- ② 被害の状況と修理方法
 - ・ 本体浮上は市町村設置 30 件、個人設置 3 件(市営への入れ替えもあった)だった。また、ベースの傾いているものが僅かにあった(泥炭地で湧水があった)。それから、放流側フランジ部分からの漏水があった。
 - ・ ジンクロペンタジエン(KBR1)は 2 基流入側下部亀裂(内 1 基入れ替え)があった。基本的には非常に強いが、変形がある。また、硬化剤を使用し FRP と同じ方法で修理したが非常に困難であった。
 - ・ 2~3 ヶ月後に漏水などの破損が分かった場合もあった
- ③ 被害の要因
 - ・ 水はけが悪い土質(2m の深さで地下水がでる場合もあった)
- ④ 応急対応の方法と必要な部材
 - ・ 暫定使用対策として仮設トイレの設置、雑排水の切り回しが行なわれた。
 - ・ エアー配管破損の応急対応としてはホース・露出配管や仮設ブロワで対応した。
 - ・ 基本的には材料不足はなかった。
 - ・ 挟み込み継ぎ手は入りにくかった(その後は在庫を多くしている)。
 - ・ パイプ・継ぎ手の在庫はあったが、バルブ類はなかった。
- ⑤ その他
 - ・ フレキシブル配管などにより被害を軽減できるのではないか。

(4) 調査先 D

- ① 震災後の対応状況
 - ・ 下水道、集排が優先で対応し、浄化槽への対応はその後(震災後 10 日くらいから)であった
 - ・ 市町村設置型は役所の支持で全て被害状況の確認を行なったが、個人設置は特に連絡などが無い場合は確認していない。
- ② 被害の状況と修理方法
 - ・ 本体浮上が多かった。また、余震の方が被害を多かったと思う。
 - ・ エアー配管の破損もあったが、個人設置については対応したが、市町村設置は役所に報告のみだった。

(参考資料) 東北被災3県におけるヒアリング調査結果

- ・ 市町村設置で槽内から砂が確認されているもの(漏水と思われる)があるが、まだ修理していない。
- ・ 被害のあった個人設置は市町村設置に切り替えたものもあった(1~2基)。

③ 被害の要因

- ・ 地盤が弱いためではないか(亜炭の採掘跡が影響しているとの話もあった)。
- ・ 埋め戻しが悪い可能性がある。

④ 応急対応の方法と必要な部材

- ・ 薬筒受けの被害は点検時など確認された時点で対応した。
- ・ ブロワ、ポンプ、ホース、テープ
- ・ 燃料が手に入らないので動けなかった(緊急車両指定はバキュームカーのみ)。

⑤ その他

- ・ 市販と同じ部材で製造されていると対応が容易

(5) 調査先 E

① 震災後の対応状況

- ・ 下水道、集落排水への対応が優先だった。
- ・ 震災2日目から使用者より被害の連絡あった。そして、1週間後に全点検業者に確認するように指示をした。その結果、異常がある場合は職員が確認し、工事業者へ指示をした。
- ・ 3月下旬から復旧工事を始め、お盆前にはほぼ終了
- ・ 個人設置の被害でも電話が多かったが、直接の対応は出来ないが、アドバイスは行なった(その後、市町村設置へ切り替えたものが3基あった)。
- ・ 浄化槽の廃棄処分は適正に処分できた(汲取り清掃、消毒までは確認)

② 被害の状況と修理方法

- ・ 300基に被害があり、内98基が本体浮上・2基が漏水(災害査定92基)で、新規入れ替えは30基だった。また、再修理が1件あった。
- ・ 本体浮上は破損が少ないが、浮上しない場合は破損が多い。また、浮上は全て掘り起こしたが、浮上1~2cmは問題なしとした(配管勾配が問題ない場合は)。
- ・ 内部破損は少なかった。
- ・ 新規入れ替えか修理の判断は修理できるかどうかによる(メーカーによる判断)。また、修理が時間的に間に合わないため、入れ替えたものもあった。
- ・ エア配管や出入り口の配管の破損も多かった。応急対応、修理とも工事業者へ発注した。
- ・ FRPは破損が多いが、補修しやすい。ジシクロペンタジエンは非常に破損が少ない(フランジ部もない)。
- ・ 被害のあった浄化槽は根巻き工事を行なった(楽で早く、効果も期待できるため)。

③ 被害の要因

- ・ 本体浮上は液状化が要因となっている。
- ・ 高度処理は流量調整部あり、重量バランスが悪いように感じる。
- ・ 浮上防止によるフランジの破損が多い
- ・ 亜炭の採掘跡が影響している可能性があるかもしれない?

④ 応急対応の方法と必要な部材

- ・ 本体浮上では、躯体導入下部に穴を開け導入管を接続し、暫定的に使用した場合もあった。また、ドラム缶を埋めて流入ポンプ槽とし、ポンプにより汚水を浄化槽に移送した場合もあった。
- ・ 本体の使用が全く不可能な本体浮上では仮設トイレの手配(30箇所弱)を行い、雑排水の切り回し工事も行なった。⇒ポータブルトイレを使用した場合もあった。

⑤ その他

- ・ 今回、震災の対策マニュアルを作った(正式ではない)

(6) 調査先 F

① 震災後の対応状況

- ・ 浄化槽については震災当日から問い合わせがあった。ただし、ガソリンが手に入らない状態が続いた(2週間程度)ので、浄化槽の対応は3月下旬から始まった。修理は4月7日から始まり、H24年3

(参考資料) 東北被災3県におけるヒアリング調査結果

月まで掛かった(専門の修理業者も非常に忙しい)。しかし、その後も漏水などが出ている。

- ・ 震災翌日から下水道のポンプ槽の汲取り作業が始まった。
 - ・ 電気・電話の完全な復旧には、震災後3~4日掛かった。
- ② 被害の状況と修理方法
- ・ 漏水が83基(新規入れ替え3基)。漏水は後でも出てくる。特に嫌気ろ床接触ばっ気の沈殿槽アール部分の破損が多い型式がある。。また、沈殿槽移行部の砂による閉塞もある。
 - ・ ろ材の浮上・落下が29基、仕切り板の破損36基(剥がれが多い)、流入・放流配管26基、担体流出も増えている。
 - ・ 漏水はコンパクトの方が少なく、ジシクロペンタジエンの型式はほとんどない。本体の真ん中の壁面が大きく破損したものもある(新設交換)。
 - ・ 浮上防止は基本的になかったので、フランジ部分の破損はなかった。
 - ・ 本震と4/7余震との被害の割合は不明
 - ・ 市町村設置型は支柱構造となっているところもある。個人設置型は支柱なしのほぼ垂直ぼり(下部は棒で上部はランマで)。
 - ・ 内陸地震では被害はなかった。
 - ・ 浮上や破損がひどく、資金がないので直していない施設がある(点検も中止)。
- ③ 被害の要因
- ・ 漏水は水はげが悪い場所や湧水(地下水)がある場合が多い。
 - ・ 地山の柔らかいところや埋立地はよくない。
- ④ 応急対応の方法と必要な部材
- ・ 停電時の対応には発電機が必要(震災後買った)。
 - ・ ガソリンの備蓄が必要。
 - ・ 薬筒受け支持部の外れや越流堰の調整にはステンレスのビスで。
 - ・ エアー配管の破損はホースで。

(7) 調査先 G

- ① 震災後の対応状況
- ・ 衛生社の被害により当初は避難所など一般汲取り実施した。
 - ・ 固定電話の普通は数ヶ月、停電は約1ヶ月続いた。
 - ・ 確認可能の施設は震災後数週間で被害状況を確認した。
 - ・ 震災後1週間後から応急対応を実施(雑排水の切り回しや仮設トイレ設置)し、速いものでは3月下旬から修理に入った。
 - ・ 汲取りは処理場の被災のため、制限があった(そのため、通常の清掃は状況に応じてとなった)。
- ② 被害の状況と修理方法
- ・ 漏水は20基あった。基本的には、掘り起こさないで修理がベター(FRPの修理は外注)。1基入れ替え後再度漏水した。漏水場所は底部アール部分の破損が多い型式がある。そして、漏水の場合、浮上はない。いまでも新たな漏水がある(中々分からないものも多い)。
 - ・ 仕切り板の亀裂もある。
 - ・ 本体浮上は6~7基(ピット構造もあった)あり、型式とは関係はなく、破損も少ない。浮上かどうかは周囲の陥没や勾配不良との関係で分からないものもある。また、余震で再浮上があった。
 - ・ エアー配管はすぐに修理した。
 - ・ 流入・放流配管の被害もあり(雑排水のトラップ部など)後での修理となった(7月でほぼ終了)。
 - ・ 底版の異常はなかった。
 - ・ 薬筒受けの破損などは点検時その場で修理した。
 - ・ ブロワの海水による浸水は原則新品へ交換した(仮設ブロワでの対応も多かった)。
 - ・ 制御盤の修理は2週間~1ヶ月程度かかった。
 - ・ 震災後井戸の水の出が悪くなる場合が地区によるが、多かった。(特に住田地区)
- ③ 被害の要因
- ・ 本体浮上は湧水があるところが多い。
- ④ 応急対応の方法と必要な部材

(参考資料) 東北被災 3 県におけるヒアリング調査結果

- ・ 仮設トイレ
- ・ 当社は優先的に各部材の確保はできたので、問題はなかった。

(8) 調査先 H

① 震災後の対応状況

- ・ 事務所は全壊し、プレハブ事務所を設置したのは 1 年 2 ヶ月後だった(その間は倉庫で営業した)。
- ・ 衛生社の被害により 1 週間後から一般の汲取り実施した(2 ヶ月間ほど)。また、し尿処理場の被害により山に廃棄した(6 月まで)。
- ・ 浄化槽の点検などの業務は 1 ヶ月後からだった(1 人は消防活動のため 2~3 ヶ月不在)。
- ・ 断水は気仙町 8 月、広田町 6~7 月までであった。また、停電は広田町では 6~7 月までだった。このため、大船渡市内の被災していない職員の個人の電話を代わりに仕事をした。

② 被害の状況と修理方法

- ・ 漏水 4 基の内、1 件は修理済み、1 件は新設交換(重機による可能性大)、2 件はまだ未修理(内 1 基は交換予定)。
- ・ 事務所と並んで建っていた海岸の側にある住宅の浄化槽は津波により、全てが漏水となっていた(ただし、使われていない)。
- ・ 本体の浮上は全くなかった(浮上防止金具はない)。
- ・ エアー配管の破損は 4~5 件あった(忙しいので仮設のままになっている)。
- ・ ブロワが海水に浸水した場合は、新品へ交換した。
- ・ 津波により土砂などが入った施設は、清掃時バキュームが土砂や石を吸う問題があった。

③ 被害の要因

- ・ 海岸沿い(防潮堤側)は漏水が多く、津波の影響と考えられた。

④ 応急対応の方法と必要な部材

- ・ 停電、断水が長期に渡ったので仮設トイレ(30~40 件)が必要だった。

⑤ その他

- ・ 震災後、特に体制は変わらない

(9) 被害・修理・応急対応の状況

ヒアリング調査の結果、部品などの修理・交換が必要となった浄化槽の被害・修理・応急対応の状況を「本体浮上」、「本体漏水」、「内部破損」、「底版の異常」、「流入・放流配管の異常」、「ポンプ配管の破損」、「外部空気配管の漏れ」、「土砂などの流入(主に津波被害)」、「上蓋の流失(津波被害)」、「送風機の冠水・流出(津波被害)」の被害の状況べつに表 3-1-参考 1 に示す。なお、新設交換となった浄化槽も被害・応急対応については同様である。



写真 本体浮上



写真 漏水による水位低下

(参考資料) 東北被災3県におけるヒアリング調査結果



写真 仕切り板の変形・亀裂



写真 槽内空気配管の破損



写真 消毒筒受け部の破損



写真 流入管の破損

表3-1-参考1 部品などの修理・交換が必要となった浄化槽の被害・修理・応急対応の状況

被害の状況	主な被害箇所	被害の程度	被害の頻度	修理などの作業の程度	修理の時間(10人槽以下の場合)	応急対応
本体浮上	躯体	浮上	非常に高い	一般に再設置が必要(要清掃)	1~3日	なし
	躯体	クラック	低い	掘り起こしての修理(要清掃)	半日(破損部分の外側からの修理のみ)	なし
	本体フランジ部分	フランジ部分の破損	浮上防止金具などを使用している場合は高い	掘り起こしての修理となるが、修理できない場合もある(要清掃)	半日(破損部分の外側からの修理のみ)	なし
	流入・放流管接続部	接続部周辺の破損、勾配不良	非常に高い	一般に本体浮上の修理と一緒にの作業となり、再設置が必要(要清掃)	1~3日	流入管破損の場合は仮設流入配管の接続工事、仮設トイレの設置、雑排水の切り回し工事が必要
本体漏水(内部破損を伴うこともある)	外部空気配管接続部	接続部周辺の破損	高い	地面の掘削などが必要	半日(舗装などがない場合)	ホース・塩ビ管による仮設配管
	躯体	破損・亀裂	非常に高い	槽内部より修理(要清掃)	1~2日	仮設トイレの設置、雑排水の切り回し工事が必要な場合がある
	流入・流出管接続部のフランジ部分	フランジ部分の隙間	低い	部品の交換、コーキング処理	半日	コーキング処理
	躯体	変形	大きな変形は低いが、軽微変形は高いと思われる	軽微な場合はなし	なし	なし
内部破損	躯体	槽上部	低い	槽上部の修理と上部スラブの再設置が伴う場合がある	1~2日	なし
	仕切り板	亀裂、取り付け部の剥離、変形	FRPで張ったものは比較的高い、ただしプレス成形の仕切り板(はめる形)は低い	槽内部より修理(要清掃)	1~2日	なし

表3-1-参考1 部品などの修理・交換が必要となった浄化槽の被害・修理・応急対応の状況(続き)						
被害の状況	主な被害箇所	被害の程度	被害の頻度	修理などの作業の程度	修理の時間(10人槽以下の場合)	応急対応
内部破損(続き)	移行部バツフル	脱落、取り付け部の剥離	低い	槽上部より修理(清掃が必要な場合も)	半日～1日	なし
	ろ材押さえ・受け	外れ	比較的高い	槽内部より修理(清掃が必要な場合も)	半日～2日	なし
	担体押さえ・受け	隙間	低い(特定の型式に多い)	槽上部・内部より修理(清掃が必要な場合も)	半日～1日	なし
	内部空気配管、移送・循環配管	破損、変形	比較的高い	槽上部より修理	半日	ホース・塩ビ管による仮設配管
	消毒筒受け部の固定不良	脱落	非常に高い	槽上部より修理	15分	ビス・ナットにより修理可能
底版の異常	底版	破損、勾配不良	非常に低い	ベースのやり直し	1日(底版のみ)	なし
流入・放流配管の異常	配管、升	破損、勾配不良	破損は低い、勾配不良は高い	部品の交換、勾配の修正	半日(舗装などがない場合)	軽微な漏れはコーキング処理、仮設トイレの設置
ポンプ配管の破損	配管	破損	少ない	地面の掘削などが必要な場合もある	半日(舗装などがない場合)	塩ビ管による仮設配管
外部空気配管の漏れ	配管	破損	比較的高い	地面の掘削などが必要	半日(舗装などがない場合)	ホース・塩ビ管による仮設配管
土砂などの流入(主に津波被害)	躯体、配管	配管・移行部・ばっ気水流・エアリーフトの詰まりなどの異常	津波被害の場合、比較的高い 地震被害では低いが漏水の場合可能性あり	清掃が必要(場合によりダンパーが必要な場合もある)	半日	なし
上蓋の流失(津波被害)	躯体・配管の上蓋	流失	高い	新規交換	なし	合板などの仮設蓋の設置
送風機の冠水・流出(津波被害)	送風機	冠水・流出	非常に高い	新規交換	15分	仮設送風機の設置

(10) 修理と新設交換の判断基準

本体に漏水が認められた場合は、浮上している場合は少ないため、躯体に大きな破損を生じていても掘り起こしをせずに修理して復旧させる場合がほとんどであり、新設交換は極めて少なかった。修理とした理由は以下に示すとおりであった。

- ・一般に修理の方が安い。
- ・掘り起こすと重機が必要であるが浄化槽のところまで重機が入れない。
- ・本体の掘り起こしは地山の更なる掘削、基礎や斜面の近くではリスクが高い。
- ・新たな設置届けが必要で手間や時間がかかる。

また、本体が浮上した場合は、躯体の破損などは少ないため新しい浄化槽に交換する場合が少なかった。しかし、掘り起こしは必要となるが、新しい浄化槽に交換する場合に比べて簡便かつ低価格で復旧することができる。

したがって、新しい浄化槽を設置した事例の多くは、修理業者が足りないため待ってられないなどの緊急性を有する場合や新しい浄化槽に交換した場合に補助金が得られる等の金銭的な支援が得られることによるものであった。また、建物の基礎や斜面に近く、工事に危険が伴うとの理由から場所を変えて新しい浄化槽を設置する場合もあった。

(11) 応急対応の方法

今回の震災では大きく分けて次のような応急対応が取られていた。

① 流入・放流管などトイレの使用停止など住民生活に直結する部分への対応

- ・本体の浮上に伴う流入管の破損においては、躯体の導入下部に穴を開け、仮設配管により本体に汚水を流入させる対応が取られていた(写真 3-3-7・8 参照)。
- ・上記の対応が取れない場合は、仮設トイレの設置(写真 3-3-9 参照)、雑排水の切り回し工事(写真 3-3-10 参照)が行なわれていた。
- ・ポンプ配管の破損においては、仮設配管の設置などの対策が取られていた(写真 3-3-11 参照)。

② 二次処理のばっ気停止に関する部分への対応

- ・空気配管(槽外部・槽内部)ともホース、塩ビ管による仮設配管によるばっ気が行なわれていた(写真 3-3-12 参照)。
- ・仮設送風機によるばっ気が行なわれていた(ただし、海水による冠水の場合、基本的に新品のブロウに交換した)。

③ 消毒の未実施に関する部分への対応

- ・薬筒受け部の破損に関しては、ビス・ナット(ステンレス)による、確認・点検時での固定が迅速に行なわれていた。



写真 3-3-7 導入管の応急修理



写真 3-3-8 導入管の応急修理 2



写真 3-3-9 仮設トイレの設置



写真 3-3-10 雑排水の切り回し工事



写真 3-3-11 放流ポンプ配管の応急修



写真 3-3-12 空気配管の応急修理

(12) 災害対応のためストックしておくことが望ましいもの

- ① ホース、塩ビ管類、配管継手類、テープ類、接着剤、コーキング材 ⇒ 空気配管、流入・放流配管、ポンプ配管の応急対応に使用
- ② ビス・ナット類 ⇒ 葉筒受けや越流せきの固定に使用
- ③ 仮設トイレ ⇒ 入手先の確保
- ④ 自動車用燃料の確保
- ⑤ 発電機 ⇒ 停電地域の修理など

(13) 今後の災害対策としての課題

- ① 今回の震災では車の燃料の確保や緊急車両の指定の問題が多く聞かれた。
- ② 躯体と配管の接続部の被害が多く、フレキシブル配管などによる被害の軽減の検討が必要との意見があった。
- ③ 市販と同じ部材で製造・施工されていると震災時の修理などの対応が容易であるとの意見があった。
- ④ 大規模な地震では漏水の発見が難しいこと、6ヶ月～1年以上経って漏水を生じるものもあり、時間が経過すると地震によるものかも断定が困難であった。
- ⑤ 大規模な地震ではその後の大きな余震も想定されることから、再度の被害の可能性や安全面から応急対応後の復旧工事の時期は注意が必要である。4月7日の最大余震による再浮上や余震が多く槽内部での作業は不安があるなどの意見もあった。
- ⑥ 大きな震災では被害数が多く、修理・工事業者が足りず、全ての復旧までには長期間掛かる(今回震災では一段落の状態までに業者にもよるが半年から1年程度は掛かっている)ので、住民の生活を考慮して修理の優先順位を決める必要があったとの報告が複数あった。
- ⑦ 今回の震災では住民の生活の速やかな回復を優先した応急対応(トイレ・雑排水対策)を自主的な判断で行なっている場合が多かったが、修理においては修理ができる技術者の人手不足あるいは費用がないため修理できないといった事例があり、これらの対策を検討する必要があるものと考えられた。

(14) 被災当初の集計結果(地震被害)を用いた「本体浮上」と「本体漏水」の比較

表3-1-参考2はH23年度に集計した地震被害の基数である。なお、市町村設置型は市町村からの被害報告と検査員により現地確認によるが、個人設置型は保守点検業者からの被害報告に基づいている。また、個人設置型の被害報告は業者により年度内でも早かった場合や遅かった場合などまちまちである。

表3-1-参考2 地震被害の概要(H23年度集計結果)

被害の状況		市町村設置型	個人設置型	合計
本体の被害	本体浮上	108(1.8%)	198(0.52%)	306(0.69%)
	本体漏水	11(0.18%)	47(0.12%)	58(0.13%)
	内部の破損など	51(0.84%)	301(0.79%)	352(0.80%)
	本体被害合計	170(2.8%)	546(1.4%)	716(1.6%)
本体以外の被害		308	189 ^{※1}	497
設置基数 ^{※2}		6,059	38,082	44,141

※1：本体の被害として報告があったが精査の結果本体以外の被害としたもの(このため、実際にはさらに多くの被害があったと思われる) ※2：津波被害地域を除いた岩手県の設置基数(震度関係なし) ※3：()は設置基数に対する割合

震災当初の集計結果では本体の被害としては次のような傾向があった。

- ① 「本体浮上」に関しては市町村設置型が個人設置型と比較して3.5倍(1.8%：0.52%)と被害

率が高かった。

- ② 「本体漏水」と「内部の破損」に関しては個人設置型と市町村設置型に大きな被害率の差はなかった。
- ③ 「本体浮上」の被害は「本体漏水」に比べ被害率は高かった。特に市町村設置型では10倍(1.8%:0.18%)と極めて高かった。

(15) ヒアリング調査の結果による「本体漏水」の再解析

ヒアリング調査の結果、「C」、「D」、「E」では被害のほとんどが「本体浮上」であり、H23年度集計結果ともほぼ同じ傾向であった。しかし、「A」、「B」、「F」、「G」、「H」ではほとんどが「本体漏水」であった。また、「本体漏水」の基数も「F」と「G」の合わせただけでもおおよそ100基となり、「A」や「B」でのヒアリング内容から推測すると岩手県内の個人設置型では300~400基程度の被害(被害率おおよそ0.9%)はあったものと推測され、H23年度集計結果時から大幅に増加していた。

これは「本体浮上」は浄化槽外部からのみで判断が可能であるが、「本体漏水」は内部の確認が必要な上に、躯体の破損のほとんどが水面下の槽下部・底部であり、しかも水位の低下が必ずしも確認できないことも多いため、時間の経過とともに被害の発見が増えていく傾向がある。ヒアリングでも「本体漏水」の発見は6ヶ月~1年以上経ってもあり、震災直後の判断は難しいとの意見がほとんどであった。

また、「本体漏水」時の水位の低下の確認が遅れる理由としては、これまで「漏水箇所が汚泥などにより閉塞」、「地下水の水位が高い」、「使用の時間帯での確認(確認時のタイミング)」、「点検間隔が長い(特に4ヶ月に1回の場合)」、「余震などより新たな亀裂の発生や当初の亀裂がさらに拡大」などが考えられていた。しかし、今回の震災では躯体の著しい破損(写真参照)でも水位の異常が確認できず、槽内の土砂の堆積から漏水を確認した場合もあり、この場合では水はけの悪い地層により周囲の埋め戻し部分に水が溜まり浄化槽と同じ水位となっていた。この様に水はけが悪い粘土層のような地層では同様の場合もあるのではないかと推測される。



写真 躯体の大きな破損

個人設置型の「本体漏水」被害を300~400基程度と想定すると、次のような傾向が推測される。

- ① 前記1. ②は個人設置型の「本体漏水」の被害率は市町村設置型に比べ被害率は5倍(0.9%:0.18%)になる。
- ② 前記1. ③は「本体浮上」の被害率は「本体漏水」に比べ市町村設置型では「本体浮上」が10倍(1.8%:0.18%)と非常に高い。また、個人設置型では市町村設置型とは反対に「本体漏水」が1.7倍(0.52%:0.9%)と高くなる。

このことから、「本体漏水」は個人設置型の被害が多く、「本体浮上」は市町村設置型の被害が多いという傾向であったといえる。

(16) 「本体漏水」と「本体浮上」の関係についての考察

これまでの被害調査による経験や今回のヒアリング結果より施工方法や地質の状況により、「本体漏水」と「本体浮上」には次のような関係が想定される。

「本体浮上」の大部分は埋め戻し部分の「砂(山砂など)+水+大きな揺れ」による液状化による砂の

槽底部への潜り込みにより引き起こされると考えられる。特に「本体周囲の掘削部分が多い」、「山砂などを使用」、「湧水がある」、「水はけが悪い」などの条件下では、液状化が起きやすいと考えられる。このように本体周囲の液状化が発生し、本体が浮上した場合、本体が浮上することにより躯体に加わる大きな力から逃れ、躯体の破損などの被害が生じ難かったものと考えられる。

また、「本体周囲の掘削部分が非常に狭い」、「掘削土など山砂などを使用しない」、「湧水がない」、「水はけが良い」などの条件下では、液状化が起き難いものと考えられ、この場合には、本体は浮上せず、躯体に大きな力が加わり、躯体や内部設備の破損が多くなったものと考えられる。

なお、「支柱工事が行われていた浄化槽」は液状化が起ころしても、本体が浮上できない構造であるため、躯体に大きな破損が生じる可能性があるものと考えられる。

(参考資料) 宮城県における被災浄化槽ヒアリング調査結果

(1) 部品等の修理交換が必要となった浄化槽

震災により浄化槽が受けた被害の状況は表 3-1-参考 3 にとおりであった。

表 3-1-参考 3 対象施設における被害箇所・被災の程度

維持管理業者	A社	B社	C社	D社	合計	
修理調査基数	4	10	22	14	50	
破 損 状 況	1躯体	4	10	8	2	24
	(1)破壊挫屈	0	0	1	1	2
	(2)大きなわれ	3	0	2	0	5
	(3)亀裂	4	10	5	1	20
	(4)変形	1	0	0	0	1
	2仕切り板	2	1	4	10	17
	(1)破壊挫屈	0	0	3	10	13
	(2)大きなわれ	2	0	0	0	2
	(3)亀裂	2	1	1	0	4
	(4)変形	1	0	0	0	1
	3固定具	0	0	4	5	9
	(1)破壊挫屈	0	0	1	4	5
	(2)大きなわれ	0	0	0	0	0
	(3)亀裂	0	0	0	0	0
	(4)変形	0	0	2	0	2
	その他	0	0	1(ろ材押さえのズレ)	1(ろ材浮上)	2
	4支持具	0	0	0	0	0
	(1)破壊挫屈	0	0	0	0	0
	(2)大きなわれ	0	0	0	0	0
	(3)亀裂	0	0	0	0	0
	(4)変形	0	0	0	0	0
	5配管	1	0	7	2	10
	(1)破壊挫屈	0	0	4	2	6
	(2)大きなわれ	0	0	0	0	0
	(3)亀裂	1	0	0	0	1
	(4)変形	0	0	1	0	1
	その他	0	0	2(勾配不良)	0	2

※一施設で複数破損の場合があるため重複している場合があります。

1) 被災箇所について

① 躯体

躯体の破損については 24 施設あった。

亀裂による破損が合計 20 施設あり内 19 施設は漏水していた。また大きな割れは 5 施設で、一部重複するが内 4 施設が漏水していた。

亀裂と割れは、躯体の全周囲で認められたが、とくに以下に示す箇所が破損するケースが多く認められた。

- ・ 流入口や放流口の接続部
- ・ 一次処理二次処理間の隔壁と躯体との接合部およびその周辺
- ・ 臭突口付近
- ・ 本体底部 (分離槽・沈殿槽)

これらで認められ地震による影響を受けやすい部分と思われる。

② 仕切り板

仕切り板の破損は 17 施設あった。仕切り板の破損は、地震で揺り動かされた槽内水により仕切り板が押し壊されたものと考えられた。また、この現象により、仕切り板が接合されている躯体も損傷した場合

もあったものと考えられた。

③ 固定具

固定具の破損は9施設で認められた。

嫌気ろ材や接触材等の押え用部材が変形または破損した施設があった。

④ 配管

配管の破損は10施設あった。

周辺地盤の変化による空気配管の破損、流入管きよ、放流管きよの亀裂や勾配不良、槽内配管やエアリフトポンプの破損が認められた施設はあった。

⑤ その他

ある型式の10人槽では、流入管下部にある出っ張り（浮上防止部と思われる）に亀裂を生じ、漏水するケースが多く認められた。

また、クボタHY型の夾雑物除去槽におけるろ材の浮上が多く認められた。

2) 地域性について

A・B社は沿岸部、C・D社は内陸部の維持管理業者である。

ヒアリングを行った施設数を沿岸部と内陸部で比較すると、沿岸部は津波による被害が多かったことから、地震被害のみの施設が少なかったためヒアリング対象の施設も少なくなったと考えられる。

沿岸部と内陸部で被災状況を比較するため、維持管理業者ごとに対象施設数に対する各部位の異常数について割合を求めた（表3-1-参考4）。

表3-1-参考4 維持管理業者ごとの被害箇所割合

	A社 4施設		B社 10施設		C社 22施設		D社 14施設	
	対象基数(基)	割合(%)	対象基数(基)	割合(%)	対象基数(基)	割合(%)	対象基数(基)	割合(%)
1 躯体	4	100	10	100	8	36.4	2	14.3
2 仕切り板	2	50	1	10	4	18.2	10	71.4
3 固定具	0	0	0	0	4	18.2	5	35.7
4 支持具	0	0	0	0	0	0.0	0	0.0
5 配管	1	25	0	0	7	31.8	2	14.3

※一施設で複数破損の場合があるため重複している場合があります。

※A社・B社は沿岸部、網掛けのC社・D社は内陸部の維持管理業者です。

沿岸部（A・B社）の浄化槽については躯体の破損割合が100%であった。内陸部（C・D社）の浄化槽は、沿岸部の浄化槽に比べて躯体の破損の割合が低かったが、それ以外の部分については沿岸部よりも破損の割合が高い傾向が認められた。これは、震源からの距離（揺れの程度）や地盤の違いが影響していると考えられた。

3) 被災の程度と修理について

破損状況ごとに主な破損状態と修理作業量は表3-1-参考5に示すとおりであった。修理作業は、水面上部における部品交換程度の簡単な修理は半日（3～4時間）で、躯体や仕切り板に生じた大きくない亀裂による漏水であれば清掃作業も含め一日（7～8時間）で行われていた。修理に長期間を要したものは、最長10日間で単独処理の分離接触ばっ気10人槽（外回りを掘って修理、埋め戻しをしたとのこと）であった。

表 3-1-参考 5 部品等の修理交換について

	破損状況	該当数	破損状態	作業量の程度	修理時間
躯体の異常	漏水	22	破壊・割れ・亀裂	清掃し内部で作業	通常7～8時間(一日)。(程度によっては半日～三日間)
	本体傾斜	1	本体傾斜	清掃し内部で作業	清掃し埋め戻し。二日間。
	本体破損	1	水面上の破損。がけ崩れで本体破損となったが他業者が修繕。	不明	不明
仕切り板破損	仕切り板破損	17	破壊, 外れ, 亀裂	清掃し内部で作業	通常半日～一日。 (最長10日間)
固定具	ろ材浮上	7	破壊, 変形	水位を下げての作業, または清掃し内部で作業	通常7～8時間(一日)。
	担体押さえ破損	2	破壊, 変形	水位を下げての作業, または清掃し内部で作業	通常7～8時間(一日)。
	担体浮上	2	破壊, 変形	清掃し内部で作業	通常7～8時間(一日)。
配管勾配	送気管破損	6	破壊, 亀裂	簡単な部品交換, または清掃し内部で作業	1時間～7～8時間(一日)
	配管勾配	2	配管勾配	不明	3～4時間
	返送管	1	破壊	槽上部からの作業	通常7～8時間(一日)。
	流入管槽内に突出	1	変形	不明	3～4時間

4) 浄化槽の入れ替え

① 浄化槽を入れ替えるか否かの判断について

ヒアリングを実施した4社とも、入れ替えか修理かは、破損の程度に関係なく、費用により安価な方を設置者が望む場合がほとんどであった。

また、以下のような意見もあった。

- ・浄化槽の中に入れれば修理の対象となる。
- ・設置者の判断(入れ替えと修理の判断は支払う金額で決まる)。

他に入れ替え(修理の場合含む)をしない理由として、将来住む人がいなくなると考えると入れ替えや修理に費用を掛ける気にならない、あるいは一度修理したが大きな余震で破損したため、余震が落ち着くまで延期したいという事例があった。

② 入れ替え

浄化槽の入れ替えをした施設は9施設あった。浄化槽の入れ替えに至った破損等の状況を表3-1-参考6に示す。入れ替えに至った主な破損等として、躯体の漏水や浮上・水平の狂いと隔壁の漏水、変形があった。

表 3-1-参考 6 浄化槽の入れ替えに至った破損等の状況

損傷状態	該当基数	備考
1 浮上・水平の狂い	4	-
2 躯体が漏水	2	-
3 躯体が変形	1	-
4 隔壁が漏水	4	-
5 隔壁が変形	4	-
6 内部設備が破損	0	-
7 その他具体的に	1	周辺の陥没

※一施設で複数破損の場合があるため重複している場合があります。

- 5) 発災直後に使用できなくなった浄化槽の応急対応について
 応急対応をした施設は 59 施設中 3 施設であった (表 3-1-参考 7)。

表-3-3-7 応急対応事例

使用できなくなった原因	処置内容
放流管の破損切断つまり	応急的な配管工事をして対応
本体が浮上	入れ替えまでの間、分離槽の汲み取りで対応
流入管が滞留	応急的に配管工事をして対応

(2) 法定検査結果

法定検査(11条)時の修繕の状態を図 3-1-参考 1 に示す。ヒアリングで回答を得た 59 施設のうち、11 条検査(平成 23 年 7 月～24 年 4 月)の結果は、適正が 31 施設、おおむね適正が 16 施設、不適正が 5 施設、入れ替えのため 11 条検査は未実施が 7 施設であった。

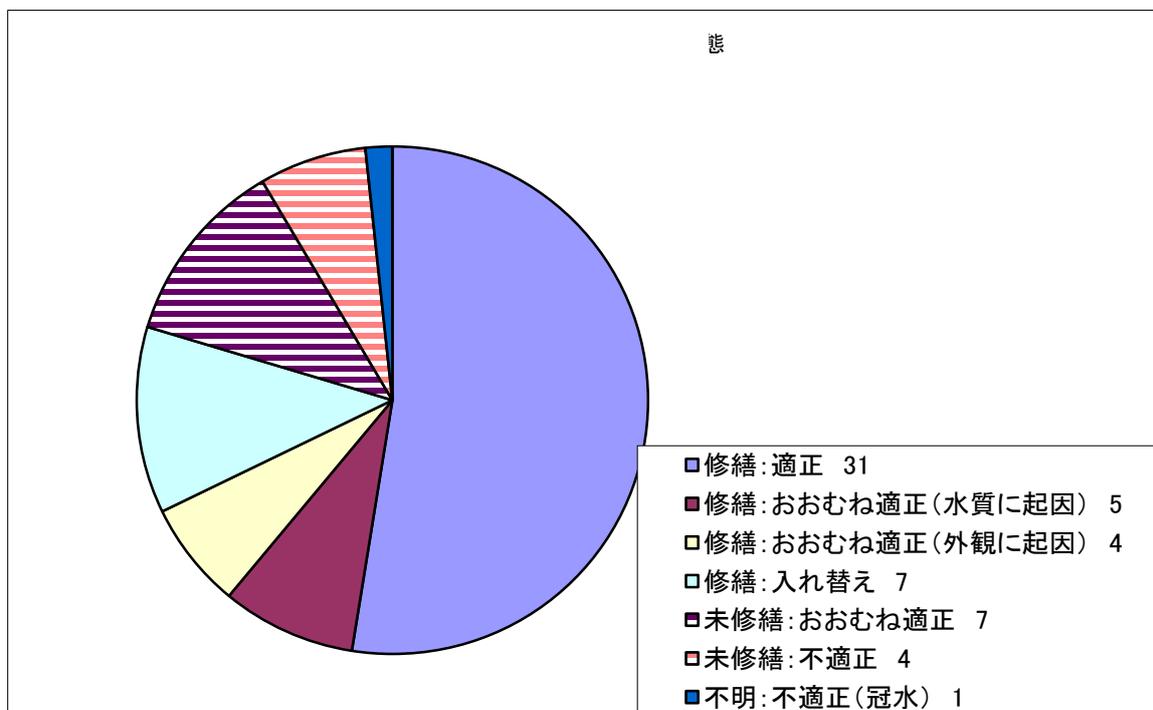


図 3-1-参考 1 法定検査(11条)時の修繕の状態

このうちすでに修繕されていたものは適正とし、31施設であった。水質が悪化していたことによりおおむね適正とされたのは5施設であり、すでに修繕済みであったが別の外観項目が指摘されたため、おおむね適正とされたのは4施設、入れ替えたため未検査であったのは7施設、以上47施設（約80%）が11条検査前に修繕が完了されていた。その他、おおむね適正とされた7施設および不適正とされた4施設は、検査の指摘項目と修繕項目が同じであることから、修繕前に検査が実施されたものと考えられる。また、1施設については、冠水のため改善の確認ができない状態であった。

(3) 今後の災害対策

1) 災害時に必要なもの

発災後に必要だったものとして、ガソリンや発電機などがあがった、ガソリンはその後携行缶で備蓄している維持管理者もあった。また、配管の補修材料やポンプ、ブロワについては震災以前から、ある程度確保している維持管理者もあった。

2) 要望

災害によって被害を受けた浄化槽に対する、国や行政、メーカーに対する要望として以下の意見が出た。

- ・ お金が無ければ修理も入れ替えもできないため、災害により被災した浄化槽の修繕に補助金を出して欲しい。
- ・ メーカーによる修理を無料か低料金で実施してもらえないか（K浄化槽メーカーが無料で修理していた）。
- ・ 地震に強い浄化槽を作るため、現場を実際に見て研究して欲しい。
- ・ 最近の浄化槽を見る限り、メーカーは修理することを想定していないように感じる、中に入って修理できる構造にして欲しい。

3) 課題

被災した浄化槽の修繕工事については、費用等の理由で、現在も未だに修繕されないまま使用されている浄化槽がある。公衆衛生の観点からもこのような浄化槽に対し早期に修理完了するような対策が望まれる。

(参考資料) 福島県における被災浄化槽ヒアリング調査結果

(1) A市建設部下水道課

①市町村設置型浄化槽について

- ・ 市町村設置型浄化槽が644基設置(平成23年3月11日当時)されていたうち89基を被害浄化槽として計上している。
- ・ 被害箇所は、槽本体1基、ポンプ槽7基、送気管8基、沈殿槽1基、ばっ気槽1基、仕切り板1基、公共マス(放流入管渠)32基、槽周囲の地盤沈下67基である。
- ・ 市設置型については、3月12日に保守点検業者に連絡を取り、目視により被害の有無を確認するよう指示した。確認作業は3日間で完了した。
- ・ 保守点検業者には、目視による使用可否の判断のみ求めた。応急処置は求めている。
- ・ 市設置型の利用者から異常の報告が寄せられた場合は、担当する浄化槽管理士が早急に現場確認を行い、使用の可否を判断した。
- ・ 仮配管の敷設などの仮復旧工事を施工業者に随時発注した。
- ・ 施工業者の選定は、自社が施工した施設を原則とした。(配管や配筋の状況などを把握しているため)
- ・ 保守点検業者には、その後の保守点検で異常を確認した場合は、詳細を報告するよう指示した。
- ・ 本復旧工事は、当課の職員が現場に赴き、被害状況を確認(全89基)した上で、工事内容を指示した。
- ・ 市設置型については、保守点検業者と施工業者に対する業務発注の考え方が明確化されており、内部送気管やポンプ配管等の破損は施工業者側に発注すべき事案となっている。

②個人設置型浄化槽について

- ・ 震災直後から浮上した等の報告は当課に寄せられていた。しかし、浄化槽管理者からではなく、ハウスメーカーや工事業者など業界関係者からの報告であった。
- ・ 震災直後は、“応急処置で使用可能な状態”であるのか、“全く使用不能な状態”であるのかの2点に絞って判断した。漏水など公衆衛生上問題がある場合は、使用不可と判断できたが、勾配不良や軽微な異常は判断に迷うこともあった。
- ・ 使用不能と判断した場合、ハウスメーカーや宅地開発業者が自ら仮設トイレを手配した事例があった。
- ・ 同時に複数戸の浄化槽が使用不能な状態になった住宅団地では、宅地開発業者が緑地や公園に自ら手配した仮設トイレを設置した事例があった。
- ・ 仮設トイレのし尿汲み取りは、所管課が異なるため、当時の状況は把握していない。
- ・ 年度末に発災したため、個人設置型の枠が無くなっていた。新年度分の内示前であったため、当課では新年度の4月まで待てば補助を執行できる旨を説明していたが、一日も早く元の生活を取り戻したいという住民は補助制度を利用せずに全額自己負担で入れ替えした事例もある。
- ・ 槽本体が完全に浮上して横倒しになった事例もある。
- ・ 3～4cm程度の勾配不良の場合は“暫定的に使用可”と判断し、使用中は閉塞等に注意するとともに保守点検業者と相談し、落ち着いた時期に改善するよう指導した。
- ・ 国、県の内示がない状況で、独断で補助金を執行するのは躊躇してしまう。

③その他

- ・ 被害が発生した地域は、特定地域に集中する傾向が認められ、それは湖沼周辺の扇状地の地盤が軟弱な土地や活断層の直下などであった。
- ・ 震災直後の期間は、ガソリン不足が一番の問題であり、市も業者も容易に動けず、調査が容易ではなかった。
- ・ 通信網が寸断され、職員が直接、業者に出向き、調査や応急対応の指示をした。
- ・ コンビニエンスストアの公衆電話が無料開放になり、市でもこれを業務連絡に活用した。
- ・ 下水道供用開始区域で浄化槽が被災した場合は、浄化槽は補修せずに下水道に切り替えるように指導した。

- ・ 市設置型では利用者から直接、当課に異常の報告があったが、個人設置型の被害報告は住民から連絡を受けた業者が市に報告したのみで、住民が市に報告することは無かった。
- ・ 軽微な応急処置の内容であれば、緊急確認時に保守点検業者が行っていたと思われるが、そういう処置を講じたという報告は無かった。

④必要な部材等

- ・ 今回は業者が在庫している部材（VU/VP 管、FRP 製のアングルや C チャンネル、排水ポンプ等）で対処できており、市として提供した部材はない。

（2）株式会社 B、株式会社 C、有限会社 D

①個人設置型浄化槽

- ・ 3月11日の本震では被害がなかったが、その後の余震で被害を受けた事例も予想以上に多かった。
- ・ 当社の主たる営業区域では、協同組合を組織し管内で18,000基の維持管理を実施している。3月11日の時点で浄化槽管理者から組合事務局に被災の連絡があり、仮設配管の敷設や破損部の軽微な補修など可能な限りの応急処置を講じた。
- ・ 舗装面に設置されていた浄化槽では、上部のコンクリートスラブとアスファルト舗装面の境界において、それぞれの揺れ方が異なったことにより配管が破断したと考えられる事例があった。
- ・ 保守点検業者が、破損状況を浄化槽管理者に伝え、補修の承諾を得てから工事発注になるため、金銭的な問題などからすぐに工事に着手できない場合がある。
- ・ 入れ替えと補修の区別は、コスト面の判断を優先する。
- ・ 個人宅の入れ替えでは、市町村の設置補助が極めて有効。
- ・ 震災直後の期間は、破損を説明しても屋根などの家屋の修理が優先で、浄化槽は後回しの傾向がある。（使用不能など致命的な破損でない場合）
- ・ 保守点検業者としても、余震による破損を発見することが多かった。本震であれば浄化槽管理者もすぐに納得してくれるが、余震の場合は説明が容易でない（見落としと受け取られる場合がある）ため苦慮した。
- ・ 漏水は異物・汚泥等などにより破損箇所が目詰まりし、結果的に正常な水位に戻ることがある。清掃後に再度、漏水が確認されるなどとくに判断が難しい場合が多かった。
- ・ 漏水が認められた施設では、水位が変化せずに地下水と槽内水が導通している事例もあり、判断が難しい。周囲が陥没して初めて漏水に気づいた現場もあった。
- ・ 再設置（浮上した浄化槽や一度地上に引き上げた浄化槽を再び設置）は、槽本体を一度、引き上げて底板コンクリートに被害が無いことを確認してから作業を行った。
- ・ 軟弱地盤の地域で再設置する場合には、空練りモルタルを埋戻し土に混和させ、簡易的な地盤改良を行った事例もある。
- ・ 槽上部から簡単にできる作業は、浄化槽管理士が対処するが、槽内作業のレベルになると専門の担当者でないとできない。
- ・ ハウスメーカーや土木・建築業者に浄化槽管理者が直接連絡を行った事例もある。
- ・ 浄化槽管理者（個人）がネットなどで調べて、相見積もりを取った事例もある。
- ・ 内部設備が簡素な単独処理浄化槽は、仕切り板に被害が生ずる事例が多い。
- ・ 単独処理浄化槽は、槽本体のFRPが薄いため、本体も破損しやすい。
- ・ 薬筒の支持部や支持具の破損も多かった。固定部の剥離やリベットの脱落などに起因する傾向が見られ、震災以外の要因も考えられた。
- ・ 仕切り板の破損は、「くの字」に折れる事例が多く、相当な圧力が加わったと思われる。
- ・ 大型合併処理浄化槽では、流量調整槽などの仕切板が槽内水のスロッシングによって外れてしまう事例がある。
- ・ 槽本体の破損は、槽の内外からオーバーレイをするのが理想的であるが、現実には現場の状況に合わせて片面からのアプローチになる。
- ・ 漏水は、槽のコーナー部で発生することが多い。
- ・ 槽内水のスロッシングの影響は大きく、とくに中規模の担体流動槽では担体流出が相次いだ。

- ・ 10人槽以下の小型合併処理浄化槽では、ろ材の脱落が認められた。とくに構造例示型の嫌気ろ床槽は、脱落する割合が高い傾向にあった。
- ・ 特定の型式で、担体流動槽内のネットの固定が脆弱で脱落してしまう事例が頻発した。
- ・ FRP製のポンプ槽は、空洞面積が大きいためか、押しつぶされて変形している事例があった。

②緊急調査

- ・ 県内の浄化槽 18,000基のうち、被災情報の多い地区を中心に被災状況の緊急確認を開始し、3月17日から4～5日程度で約4,000戸の調査を行った結果から、震災初年度に475基の補修を実施した。発生率は約3%であったが、震災後は2班体制で連日、補修工事を続けた。
- ・ 緊急調査は、顧客に安心して浄化槽を使用して貰えること、および高齢者世帯などは安否確認を兼ねて実施した。
- ・ 震災直後の緊急確認については、時間的な制約や優先する復旧業務があり、確認のみで何度も巡回することは困難であった。
- ・ 大きな余震が続いたため、本震後の緊急調査で異常が認められなくても数日後の余震で破損したと思われる事例があった。井戸近くで浄化槽が漏水していた場合など、衛生上問題があると思われる事例もあり、余震が続く場合は1回の調査では不十分であるものと考えられる。

③必要な部材等

- ・ 今回の補修対応では、社内在庫分のグラスマットで対応できたが、今後はFRP素材工場が被災した場合に長期間に渡って素材が入手困難になる可能性がある。(国内の生産工場が限られていることや交通網が寸断されること)
- ・ VU/VP管、FRP製のアンクルやCチャンネル、排水ポンプ等を用いることで、ある程度の応急対応は可能であったが、バルブなど浄化槽専用部品はホームセンターでは入手できなかったため、迅速なこれらの部品の入手は困難であった。
- ・ 補修専門業者が補修する場合、破損部分の“補修”だけではなく“補強”も同時に行っている。一部だけがピンポイントで強くなれば、応力が集中した場合に補強した部分の周囲が破損する。今後の破損を防ぐためにも破損部より大きな面積をオーバーレイした。
- ・ 槽本体の破損について、FRPをどれだけオーバーレイするか、範囲をどこまで広げるかは経験によるため、業者間の技術差が生ずると考えられる。
- ・ オーバーレイの厚さは、小型合併処理浄化槽で6PLY程度とした。大型合併処理浄化槽では12PLY程度とした。グラスマットは#450のロールを数種類の大きさにカットしたものを現場の状況にあわせて、選択しながらオーバーレイした。

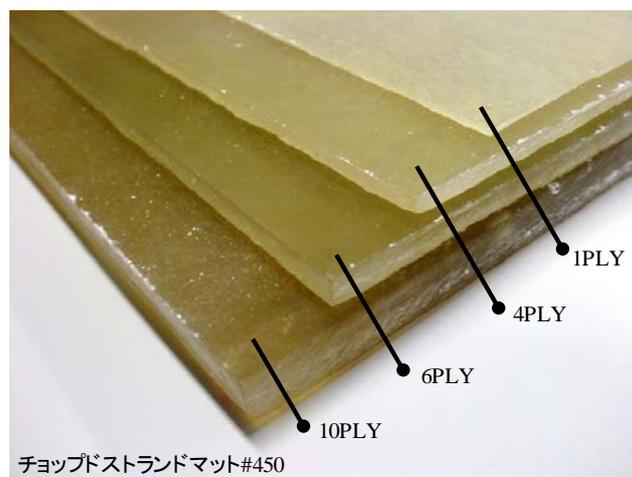


写真 FRPの積層サンプル

(#450…1㎡あたり450gのガラス繊維。樹脂を含浸させ硬化すると1PLYが0.8～1mmの厚さになる)

- 本体が DCPD 製の浄化槽における漏水や破損はほぼ皆無であった。しかし、ゴムに近いという樹脂の特性から、本体の形状は復元しても、FRP 製の内部設備が破損している事例があった。
- DCPD 製の本体が破損した場合は、修理のコストを考えると新しい浄化槽に入れ替えの方が良いと判断されたものがほとんどであった。これは、DCPD の槽本体と同じ樹脂を溶着させる工法でしか補修せず、FRP のように広範囲にオーバーレイをすることができないため、長期間安定した強度を保持することが難しいことによる。また、専用の器具が必要であり、素材そのものが高価であることも、入れ替えの方が良いと判断された一因である。

④その他

- 槽本体が破損した場合、槽内に流入した土砂の処分が問題となる場合があった。多量の土砂は、物理的にバキューム車では引き抜くことが困難であること、およびし尿処理場では土砂が混入した汚泥は受け入れが認められないためである。したがって、土砂は産廃業者に依頼しダンパー車で引き抜きした事例が多い。
- 震災直後の燃料不足が応急的な浄化槽の確認・対応の初動を遅らせた。漏水など公衆衛生上問題がある事故を確認してもバキューム車が動かさなければ対処できない。
- 仮設トイレの汲み取りもあり、バキューム車は優先的に給油できるように行政側で柔軟に対処して欲しい。
- 下水道や農集排は公費で復旧しており、合併処理浄化槽だけが個人負担とは納得できないという苦情が多かった。
- 災害時の浄化槽整備事業は、もっと弾力的に運用できるようにすべき。
- 地殻変動が起きており、これだけの規模の地震ではハウスメーカー等から施工の不備と指摘され、責任を追及されても困る。(そもそも地震対策の基準が無い)