

人口減少時代における持続性と災害対応力を備えた 生活排水処理施設の構築に関する研究

Construction of the Domestic Wastewater Treatment Facilities Comprising the Persistence and the Response Ability for Disaster in Depopulated Era

常葉大学社会環境学部 小 川 浩
鳥取大学大学院工学研究科 細 井 由 彦
京都大学防災研究所 城 戸 由 能
大阪府立公衆衛生研究所 奥 村 早代子

OGAWA Hiroshi, HOSOI Yoshihiko, KIDO Yoshinobu, OKUMURA Sayoko

1. はじめに

これまでの研究では、人口が連続的に、かつ徐々に減少する場合の生活排水処理計画の見直しの必要性を論じてきた。特に汚泥処理まで包含して考えた場合には、集合処理の優位性は大きいといえる。しかし、過去にあった炭鉱の廃止、現在でいえば東日本大震災以後議論になっている原子力発電に対する見直しのようなエネルギー政策の転換による人口流出や地震後の復興政策を実施しても住宅再建が困難な高齢者が帰郷できないといったような、大きな社会的変化による不規則的かつ顕著な人口減少が予想される。また、大震災後の居住地再配置などの新たな住宅建設計画を行う場合には、住民の定着の不確定性を考慮した生活排水処理施設を計画する必要がある。

そこで、持続性とレジリエンスをもった浄化槽による生活排水処理システム形成のための施策を提案するとともに残された課題を示す。

2. 研究内容

本研究は、以下に示す3課題の検討を行ってきた。

- (1) 人口減少及びインフラ整備の重複による財政負担を生じている自治体を対象とした財政状況と対応、今後の課題の抽出、持続性とレジリエンスを有する生活排水処理システムのための施策
- (2) し尿処理施設の統合及び広域処理化における CO₂ 削減効果
- (3) 既構築ソフトと GIS 機能の付加による集合処理と個別処理の評価手法

なお、(2)と(3)については、平成 25 年度開催の全国浄化槽技術研究集会において報告したため、本稿

では、(1)について概説する。

3. 人口減少が著しい過疎地の農業集落排水施設の持続的更新施策

(1) 研究対象地区及び施策ケース

本研究では、河川に沿って点在する農業集落排水施設の持続的な更新方法を検討した。対象とした地区は、図1に示す11地区である。それぞれの将来の人口予測結果を図2に示す。2010年において、最も人口が多いのはE地区の533人で、2045年には156人

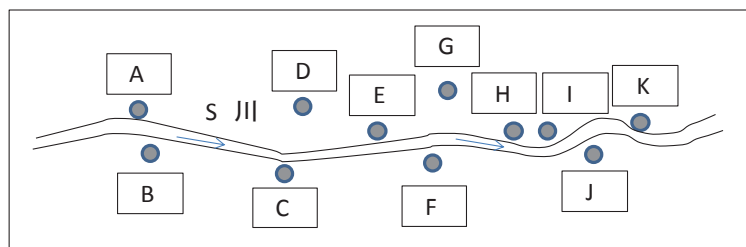


図1 検討地区の概要

になると予測され、最も人口が少ないのはA地区の73人で、2045年には23人と予測されている。このような状況にある地区において、施設の統合や浄化槽の導入なども含めた施設の更新施策を検討した。

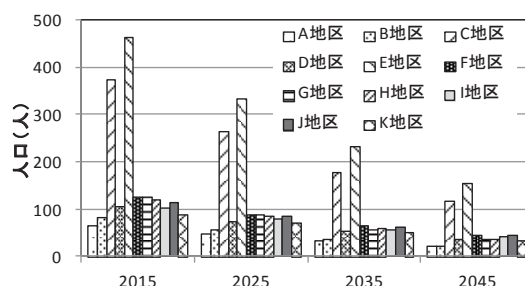


図2 各地区の人口予測結果

検討する手法は表1に示す5ケースである。処理地区を統合する場合は、上流地区の処理施設をポンプ施設に改築し、統合後の処理施設に連結管で汚水を送水する。統合後の処理施設は、現処理施設を改築更新するとともに、新しい処理水量に対応できるように増築を行う。浄化槽による個別処理を導入する地区については、現在の集合処理を廃止する。

それぞれのケースについて、建設費と今後35年間の人口変化を考慮した維持管理費を試算し、比較を行った。また、地震に対する安全性として、予想される最大地震動に対する施設の耐震性から、地震後の処理可能人口率を求めて比較を行った。

表1 検討する更新方法

CASE	内 容
CASE-1	現在のまま11地区の農業集落排水施設を更新して継続
CASE-2	A,B,C地区を1つに,その他を1つに統合し,処理施設をC地区,K地区におく
CASE-3	全地区を統合し, 処理施設をK地区におく
CASE-4	合併処理浄化槽による個別処理に切り替える
CASE-5	集合処理と個別処理の組み合わせを考える

(2) 更新に係る費用

1) 試算方法

更新は2010年に実施し、2045年までの費用とした。CASE-1では、各処理施設において機械の更新を行うが、機械の耐用年数を7年とし、評価期間中に5回の更新を行うものとした。A、B、D、G、H、J、Kの各地区には、ばっ気沈砂池を新設する。F、I以外の9地区の土木建築物に対しては、断面修復

を1回行うとともに、耐用年数10年の水槽防食を3回行う。マンホールポンプについても、1回の更新を行う。処理区域内の管渠については、2045年までそのまま利用可能であるとする。マンホールポンプと処理区域内の管渠については、CASE-2、3、5についても同じ扱いとする。

CASE-2では、A、B地区の処理施設はポンプ場に改築し、A地区とB地区、B地区とC地区との間に連結管を建設する。D地区及びG地区に関しては処理施設は廃止し、それぞれに連結管を建設して自然流下でE、Hに送水する。E、F、H、I、Jの各処理施設は、ポンプ場に改築する。E-F、F-H、H-I、I-K、J-K間にそれぞれ連結管を建設する。また、C及びK処理施設は、それぞれ処理能力を増加させて更新する。

CASE-3においては、CASE-2からさらに、C処理施設をポンプ場に改築し、Eに向けて連結管を建設する。K処理施設は、全地区分を受け入れられるように処理能力を増加させて改築する。

ばっ気沈砂池の新設費は、積み上げ計算により99万8千円とした。防食費用、断面修復費用はそれぞれの処理施設における劣化診断の上で決定した。機械設備の更新費についても、各処理施設の設置済み機械より決定した。

以上より、求められた費用を表2、表3に示す。連結管の建設費は、それぞれの地形に応じて掘削工事や橋梁添架工事等を積み上げて表4のようになった。

表2 処理施設更新に係る費用

耐用年数	機械更新	ばっ気沈砂池	水槽防食	断面修復
	7	30	30	10
A地区	5,048	998	8,042	3,094
B地区	5,194	998	7,157	1,048
C地区	14,446		26,639	7,813
D地区	5,194	998	9,028	3,412
E地区	14,268		27,802	7,489
F地区	2,870			
G地区	5,796	998	10,522	4,055
H地区	6,160	998	9,545	3,691
I地区	2,870			
J地区	6,144	998	7,354	1,841
K地区	5,772	998	8,161	2,991

(単位:千円)

表3 ポンプ場の建設費

地区	建設費(千円)
A地区	13,797
B地区	16,055
C地区	16,076
E地区	21,116
F地区	10,385
H地区	18,711
I地区	9,240
J地区	13,566

表4 連結管の建設費

区間	延長(m)	建設費(千円)
A-B	435	18,000
B-C	1,350	43,000
C-E	960	39,700
D-E	710	36,000
E-F	1,940	80,200
F-H	2,200	90,900
G-H	1,050	53,300
H-I	460	19,000
I-K	870	39,890
J-K	730	23,500

処理場を更新する費用は、増築分については実績より作成した式で試算し、それに従来施設の更新分を加えて求めた。試算結果を表5に示す。マンホールポンプについては、設置費は1台当たり880万円とした¹⁾。

浄化槽は、設置費を1基当たり83.7万円、躯体と機器設備類との比率は9:1とした¹⁾。耐用年数は躯体が35年、機器設備類は12年とした。機器設備類の更新のたびごとに、そのときの人口から世帯数を推定し、更新する数を決定した。

処理施設の維持管理費として、電気代、水道料金、保守点検費、薬剤費、汚泥処理費、水質検査費、消耗品費、諸経費、職員報酬を考慮した。このうち、電気代、薬剤費、汚泥処理費は処理人数により変

表5 処理場の増築・更新費

処理場	増築・更新費(千円)
C処理場(CASE-2)	128,489
K処理場(CASE-2)	255,758
K処理場(CASE-3)	295,849

化するものとして、過去の実績をもとに次式を作成した。その他については、固定費とした。

$$[\text{電気代(千円/年)}] = 1.747 \times [\text{処理人口}] + 87.32$$

$$[\text{薬剤費(千円/年)}] = 0.22 \times [\text{処理人口}] + 19.64$$

$$[\text{汚泥処理費(千円/年)}] = 1.55 \times [\text{処理人口}] + 135.23$$

マンホールポンプの維持管理費は、1台当たり20万円/年、管渠の維持管理費は57円/m・年、浄化槽の維持管理費は1基当たり6.5万円/年とした¹⁾。

2) 評価

総費用の試算結果を図3に示す。まず全処理区域について、集合処理を継続するCASE-1からCASE-3について考察する。建設費(更新、築費)は、施設のままで更新を行うCASE-1が3ケースの中で最も少ないが、維持管理費が大きいため総費用としては最大となった。これに対してCASE-2、CASE-3は、建設費は高いものの維持管理費が低く抑えられている。

個別処理の導入を伴うCASE-4、CASE-5について検討した。全地域を個別処理で更新するCASE-4は、CASE-2、CASE-3より費用が高くなるもののCASE-1よりは低くなった。個別処理の場合は、全て新設であるのに対し、CASE-1の集合処理には管路の建設費は含まれておらず、処理場については新設より安い更新であることから、新設として費用比較をした場合には、さらに個別処理が安価となり、当該の各地区の人口からは、新設時には個別処理が選択される状況にあると言える。CASE-2、CASE-3と比較した場合、CASE-4は建設費が少ないものの維持管理費が多くなり、結果として総費用が高くなっている。世帯数が732と少ない当地域においては、浄化槽を設置する費用は低く抑えられるものの維持管理費が割高になるという一般的傾向にしたがって、維持管理費において集合処理より優位になるところまでには至らなかった。

過疎化が顕著な地区であるにもかかわらず、集合処理の方が経済的であるとなった理由として、すでに布設されている管路を利用できること、処理建屋を利用してポンプ施設に改築できること、統合した処理施設もこれまでの施設を利用しつつ更新増築を行えることなどがあげられる。

人口が最も多いE地区とそれに続くC地区及びB、D地区を統合して集合処理とし、その他を個別処理とする場合をCASE-5とし、その費用を図3に示す。建設費については、CASE-4と変わらないものの維持管理費において低くなっている。CASE-5は、全ての中で最も費用が少なくなっている。現施設の状態を効率よく利用して、集合処理の統合や個別処理の導入を組み合わせることで、過疎化が進行する地区の持続的な生活排水処理施設の運営が行えるものと考えられる。

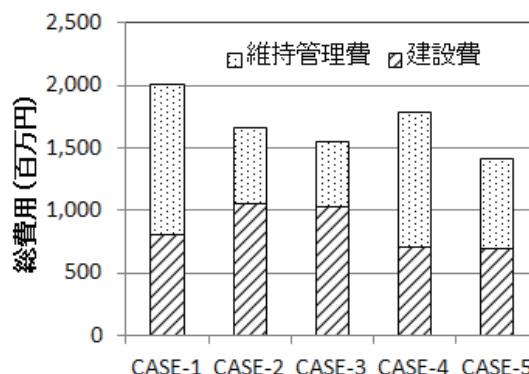


図3 建設費及び維持管理費

(3) 地震に対する安全性評価

1) 評価方法

ここでは安全性として地震時の被害の発生について検討する。地震が発生したときに処理区域*i*の管路及びマンホールポンプが正常に働いて処理区末端まで処理区内全人口の汚水を輸送できる確率を r_{Ai}

とする。ポンプ場 k が正常に稼働する確率を $r_{P,k}$ 、連結管 j が正常に働く確率を $r_{L,j}$ とする。処理場が停止しないで処理区域 i の排水が処理される確率を $r_{T,i}$ とし、処理区域 i の排水が処理施設に輸送されるまでに通過するポンプ場の集合を i_p 、連結管の集合を i_L とする。処理区域 i の人口をとすると、処理区域 i の地震に対する信頼度 R_i と地震発生後も処理が可能な i 地区の期待人口 $N_{C,i}$ は、それぞれ次のように表される。

$$R_i = r_{A,i} \left(\prod_{k \in i_p} r_{P,k} \prod_{j \in i_L} r_{L,j} \right) r_{T,i}$$

$$N_{C,i} = n_i r_{A,i} \left(\prod_{k \in i_p} r_{P,k} \prod_{j \in i_L} r_{L,j} \right) r_{T,i}$$

浄化槽を利用する個別処理地区 m においては、人口を n_m 、 m 地区の浄化槽が地震後も正常に稼働する確率を $r_{S,m}$ とすると、 m 地区の地震発生後も処理が可能な期待人口 $N_{S,m}$ は、次のようになる。

$$N_{S,m} = n_m r_{S,m}$$

したがって地震発生後にも処理が行える期待人口 N は、すべての集合処理地区、個別処理地区の人口を合計して次のようになる。

$$N = \sum_{i \in A_C} N_{C,i} + \sum_{m \in A_S} N_{S,m}$$

ここで、 A_C, A_S はそれぞれ集合処理地区、個別処理地区を示している。

処理地区内の地震後の排水収集確率の評価方法は、簡便のために処理区域 i の管路延長 z_i を 1 本の管とし、その延長に人口 n_i が均等に分布していると仮定する。これより、処理区域内の管路システムの信頼度 $r_{A,i}$ を、次のように表すことができる。

$$r_{A,i} = \{1 - \exp(-b_i z_i)\} \frac{1}{b_i z_i}$$

ポンプ場及び処理場については、震度 6 未満の場合の被害率 0.001 を用いた²⁾。浄化槽については、それぞれの埋設環境の影響が大きいが、震度 5 以下で被害はあまり発生していないため、被害率に関するデータも得られていない。ここでは、兵庫県水質保全センターが平成 7 年兵庫県南部地震の際に調査した小型浄化槽の破損率として 0.3% を用いた。ここで用いた想定地震に関する情報を表 6 に示す。

2) 安全性

各地区の地震時信頼度を図 4 に示す。CASE-4 については、浄化槽の被害率を 0.3% としているため、いずれの処理区域も信頼度は 0.997 である（図省略）。CASE-1 から CASE-3 へと、集合処理の処理区域を広げるにつれて、信頼度は徐々に下がる傾向を示している。CASE-5 では、個別処理地区では非常に高く、集合処理地区においても範囲が限られているため、CASE-2 にほぼ匹敵するレベルとなっている。

表 6 想定地震の規模

地区	震度	最大速度	
		区間	(cm/s)
A地区	5弱	A-B	22.1
B地区	4	B-C	26.9
C地区	5弱	C-E	23.8
D地区	5強	D-E	22.4
E地区	5弱	E-F	20.2
F地区	5弱	F-H	18.9
G地区	5弱	G-H	25.0
H地区	5弱	H-I	19.6
I地区	4	I-K	17.6
J地区	4	J-K	18.4
K地区	4		

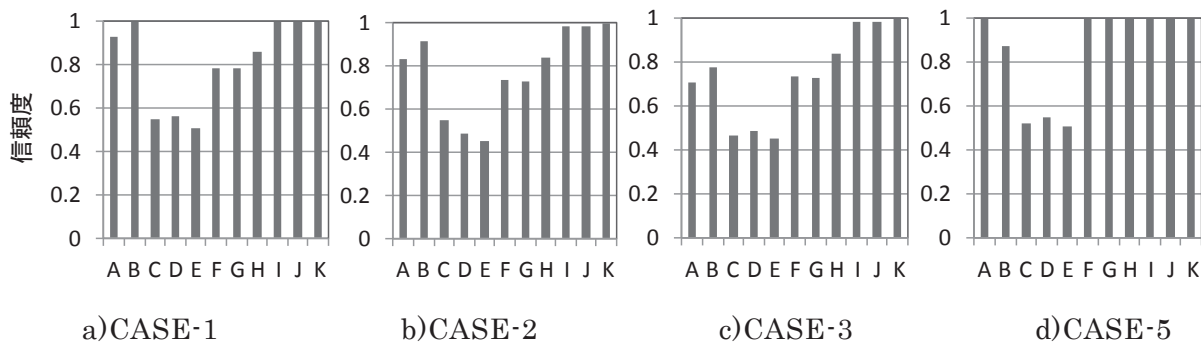


図4 各処理区域の地震時信頼度

各地区の処理可能期待人口の合計を全人口で割ったものを、総合的な地震時の信頼度とし、その35年間の平均値を図5に示す。これまでの検討で明らかのように、浄化槽を利用するケースの方が信頼度は高くなっている。

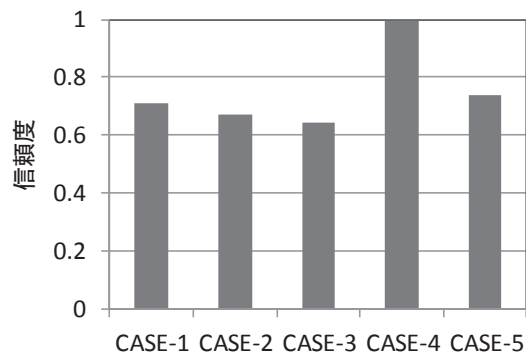


図5 各ケースの地震時信頼度

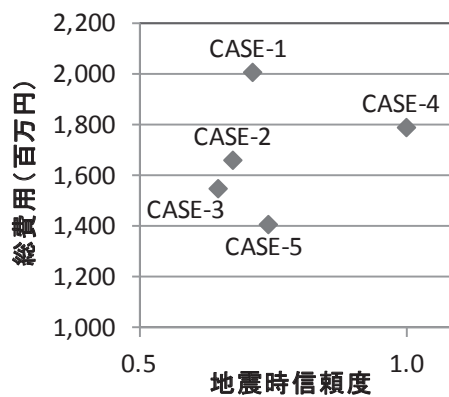


図6 各CASEの評価

4. まとめ

本研究では、集合処理が更新時期を迎えている過疎地域において、今後のさらなる人口減少への対応も考慮した更新方法について検討した。今回の事例では、比較的人口の多い地区を中心に集合処理を統合し、周辺は個別処理に切り替える方法が費用面から最も有利であるという結果になった。

安全面では、該当地域は想定される地震による震度が最大で震度5強とされており、浄化槽の被害は非常に少ないと予想される。そのために浄化槽を取り入れた施策ほど信頼度が高くなった。過疎地域においても処理施設の老朽化が進み、その対策の検討が今後増えていくと予想される。著しい人口の減少が地域のかたちそのものを変えてしまうことになり、それぞれの個別の状況に配慮した様々な工夫による持続的な事業運営が求められる。

なお、本稿は、月刊浄化槽 2015-2(pp13-17)の「特集 行政の取り組みと浄化槽の整備促進手法」に掲載されたものである。

謝 辞

本研究は、公益財団法人日本環境整備教育センターの平成24年度浄化槽に関する調査研究助成において実施したものであり、ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル（案）、国土交通省（2008）。
- 2) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会：第1回大規模地震による下水道被害想定検討委員会資料、国土交通省（2005）。

