

下水道整備率が低い地域での震災による管路の被害と

津波による水源としての河川水の変化

和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 横田恭平

第1章 震災による管路の被害

1. 研究の目的, 方針, および経過

1.1 研究背景

上水道や下水道の事業について、人口減少による使用料収入の減少、人員削減、施設の老朽化などにより、これまでの規模での事業は難しくなっている。このことから農業集落排水施設や合併浄化槽などの小規模な施設や個別処理での処理の重要性が高まっている。

水道の配管は耐震化が進められている。その進み具合は「重要給水施設管路の耐震化に係る調査結果」を見ると、適合の割合が各都道府県で異なり、和歌山県は、比較的低い割合となっている。さらに和歌山県は他の県と比較して農業集落排水施設や合併浄化槽（単独浄化槽もあり）で下水を処理することが多い場所であるため、震度 7 でも耐える水道管の割合を市町村レベルよりさらに小さい地区レベルで把握する必要がある。

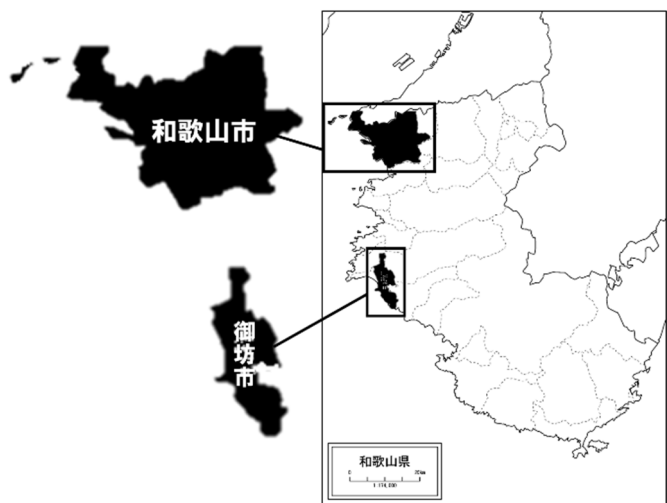
1.2 研究目的

下水道の処理方法が農業集落排水施設や合併浄化槽の場所において、震災による上下水道の破損状況の把握を以下に基づき地区レベルで明らかにする。

- ・地区ごとの小さい規模・下水道整備率が低い場所を対象とする。
- ・具体的な対象地として和歌山県の和歌山市（比較対象として下水道整備率が高い場所）、御坊市（下水道整備率が低い場所）とする。
- ・過去の地震の被害状況より、震度と管路の被害の割合の関係を把握する。過去の地震として、1995 年の阪神淡路大震災、2011 年の東日本大震災や 2016 年の熊本地震などを対象とする。
- ・地区ごとの災害時における下水道の破損状況を推定する。

1.3 方針及び経過

本章の方針として、和歌山県の和歌山市及び御坊市の下水道管の被害管路延長及び被害件数を算定していく。経過としては、和歌山市の一部及び御坊市の一部の地域において算定を行った。以下にこれらの結果及び結論を示す。



2. 得られた結果と具体的な結論

2.1 調査地の概要

調査対象地を図 1 に示す。和歌山県内で下水道整備率が低い地域が御坊市、高い地域が和歌山市である。

図 1 研究対象地（和歌山県和歌山市及び御坊市）

御坊市を選定した理由として、①住宅地が点在しており、下水道整備率が低い地域である。②多くは農業集落排水施設や合併浄化槽で下水を処理している。③震災時に津波高が 10m を超える。④震度 7 を想定されている、などの理由から、震災時の被害は相当のものと思われるため選定した。図 2 に御坊市で対象とした藺地区、塩屋町北塩屋湊地区、塩屋町北塩屋北浜地区、塩屋町南塩屋地区を示す。

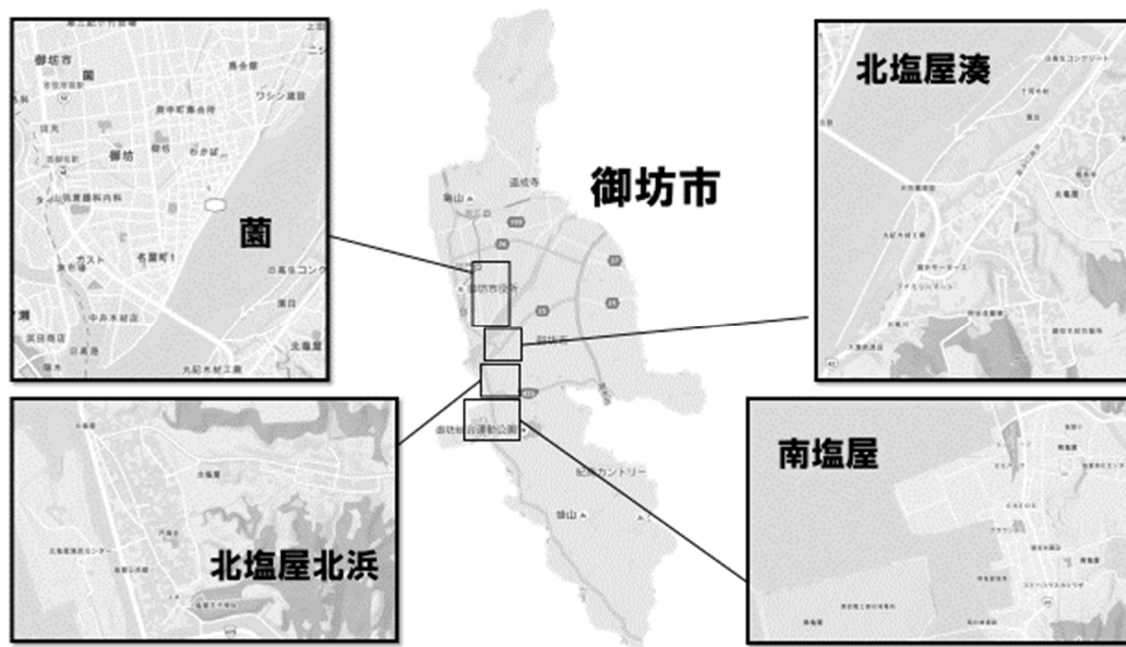


図 2 研究対象地の詳細（和歌山県 御坊市）

和歌山市を選定した理由として、①下水道整備率が高い地域である。②震災時に津波高が 10m を超える。③震度 7 を想定されている、などの理由から選定した。図 3 に和歌山市で対象とした加太地区、（松江・島橋・野崎）地区、（築港・湊御殿）地区、（布引・毛見）地区を示す。

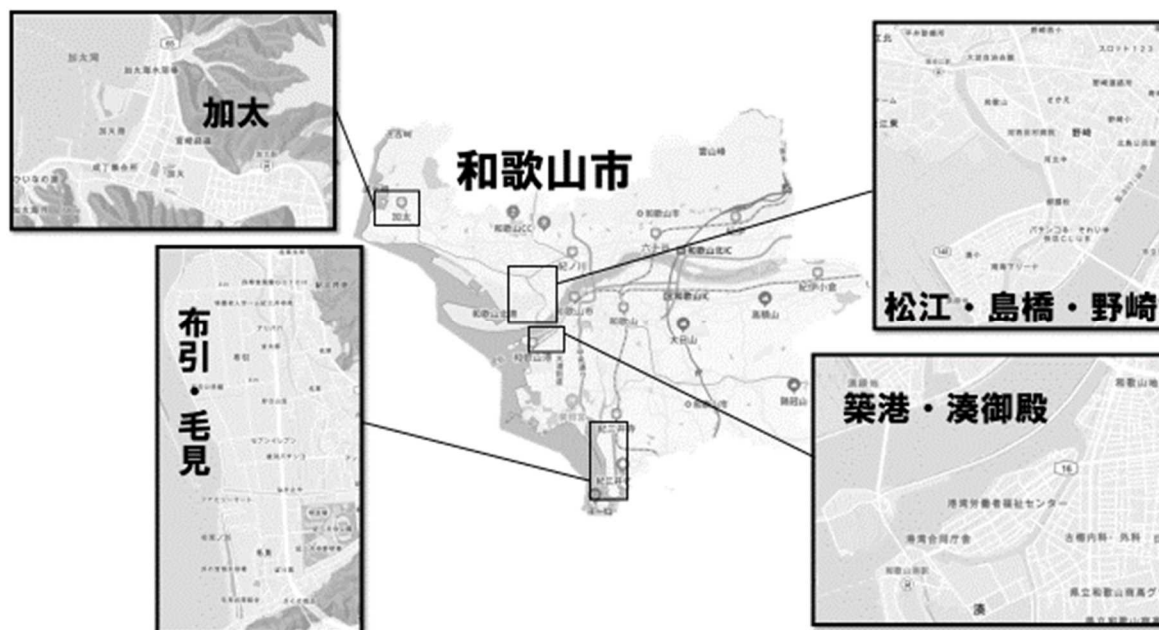


図 3 研究対象地の詳細（和歌山県 和歌山市）

ここでは本研究で比較対照とした地区を以下に示す（「御坊市一和歌山市」の順に示す）．①「塩屋町北塩屋湊地区」－「（築港・湊御殿）地区」，②「塩屋町北塩屋北浜地区」－「加太地区」，③「南塩屋地区」－「（布引・毛見）地区」，④「菌地区」－「（松江・島橋・野崎）地区」．これらの管路延長は，表 1（御坊市の選定地区）と表 2（和歌山市の選定地区）に示す．対照とした理由として，津波の影響を受ける場所，津波が河川の遡上によって影響を受ける場所などの特徴が似ているため選定した．

表 1 御坊市の対象地区における下水道の管路総延長

選定地区	北塩屋湊	北塩屋北浜	南塩屋	菌
管路総延長[km]	7.18	5.53	8.28	8.65

表 2 和歌山市の対象地区における下水道の管路総延長

選定地区	築港・湊御殿	加太	布引・毛見	松江・島橋・野崎
管路総延長[km]	59.03	4.80	22.47	13.19

2.2 計算方法

御坊市役所下水道課・和歌山市役所に下水管配管図の提供を依頼し，そのデータから配置している管路を全て把握する．その際に，耐震化が行われているかについても確認する．そしてどの地区で下水道の管路が破損するかを推定するために過去の震災データや，参考文献から得た下記の算出式の式(1)(2)(3)，表 3 と表 4 を用いて震度と下水道の破損状況の関係性を確認した^{1)~3)}．それらを和歌山県内の想定震度と照らし合わせ破損状況を予測していった．今回，和歌山市・御坊市は共に PL 値は 15 以上であったため， $\zeta=0.072$ ， $\lambda=3.680$ ， $C=0.216$ の条件を用いる．本研究では R' の値として「塩ビ管胸管」の値を用いる．震度 7 の地表最大速度は，震度と加速度に明確な基準はない．過去に起こった阪神淡路大震災(兵庫県)の記録を参考にし，震度 7 の地表最大速度は 140～160(cm/s)と仮定し，比較の指標に用いる．

$$D = \Sigma L \cdot R(v) \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$R(v) = C\Phi\left(\frac{\ln v - \lambda}{\zeta}\right) \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$D' = \Sigma L \cdot R' \cdot \cdot \cdot (3)$$

D ：総被害件数(件)， D' ：被害管路延長(km)， L ：管路延長(km)， $R(v)$ ：標準被害率評価式(件/km)， R' ：管種・管径別被害率(%)， $\Phi(x)$ ：標準正規分布の確率分布関数， v ：地表最大速度(cm/s)

表 4 震度階級による各種係数

管種	液状化危険度	PL 値 計測震度基準値	震度階級				
			5-	5+	6-	6+	7
塩ビ管 陶管	A～D	ALL	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
			1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%
その他の管	A	15 < PL	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
	B	5 < PL ≤ 15	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
	C	0 < PL ≤ 5	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
	D	PL = 0	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

表 3 液状化の有無による各種係数

液状化	ζ	λ	C
液状化あり (PL ≥ 15)	0.072	3.680	0.216
液状化あり (0 < PL < 15)	0.004	3.652	0.289

表 5 各地区の被害管路延長の結果

単位	御坊市 選出地域	震度		震度		和歌山市 選出地域
		6強	7	6強	7	
[km]	北塩屋湊		1.78		14.64	築港・湊御殿
	北塩屋北浜		1.37	0.54		加太
	南塩屋		2.05		5.57	布引・毛見
	藺		2.15		3.27	松江・島橋・野崎

2.3 調査結果及び考察

2.3.1 被害管路延長について

和歌山市・御坊市における選出地区から、「2.2 計算方法」より南海トラフの想定震度に相当する平均被害率と管路延長から求めた被害管路延長を表 5 に示す。被害管路延長の比較について、下記の結果となった。

「北塩屋湊地区」 < 「築港・湊御殿地区」

「北塩屋北浜地区」 > 「加太地区」

「南塩屋地区」 < 「布引・毛見地区」

「藺地区」 < 「松江・島橋・野崎地区」

「北塩屋北浜地区」－「加太地区」についてのみ御坊市の方で被害管路延長が長くなる結果を示した。このように示した理由としては、総管路延長に差があった事が挙げられる。表 3～表 4 から分かることは、計測震度によって被害率の値は決まっており、その計測震度に大きな差異がなければ、総管路延長の差が被害管路延長の差となる。では総管路延長に差が生じた要因として、御坊市北塩屋北浜地区では、海岸沿いに面した国道 42 号線を中心に、住宅地がある東に向かって下水管が埋設されている。しかし、和歌山市加太地区では、加太駅周辺の住宅地にしか下水管は埋設されておらず、西側にある海岸沿いの住宅地周辺に下水管は一つも埋設されていなかった。同じ海岸沿いにもかかわらず、北塩屋北浜地区と加太地区に違いが顕著に見られた。加太は観光名所としても有名で宿泊施設も点在し、人口的には北塩屋北浜地区より多い。よって人が集まる地域こそ、下水管の埋設工事又は耐震化を進めていくべきと考える。

2.3.2 総被害件数の比較について

和歌山市・御坊市における選出地域から、「2.2 計算方法」より震度 7 の地表最大速度 140～160(cm/s) の中間値、150(cm/s) に焦点を当て、比較地区別の総被害件数を図 4 に示す。総被害件数も同様に、総管路延長によって差が生じる。

「北塩屋湊地区」－「築港・湊御殿地区」間では、「築港・湊御殿地区」が「北塩屋湊地区」に比べて住宅地が圧倒

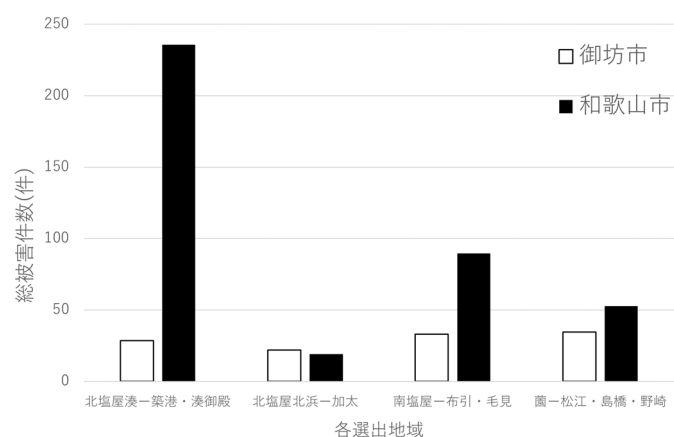


図 4 各地区の総被害件数の結果

的に多く、総管路延長に差が生まれることは明白である。次に、「北塩屋北浜地区」－「加太地区」間では総管路延長に差が小さいため、そこまでの違いは見られなかったと考えられる。そして、「南塩屋地区」－「布引・毛見地区」間では、地形の大きさの関係もあり、和歌山市の方で総管路延長が大きくなり、差が生じるのは明らかである。しかし、「菌地区」－「松江・島橋・野崎地区」間では住宅地の多さや地形の大きさに関係なく、差があまり生まれなかった。つまり和歌山市のような都市部にもかかわらず、住宅地が密集している「松江・島橋・野崎地区」地区での総管路延長が少なかったのである。要因として二つ考えられる。一つ目に、地形の問題である。「松江・島橋・野崎地区」では土入川を挟んで地区が混合している。そのため、地区を繋ぐための橋が多数存在するということになる。つまり、地区同士を繋ぐ下水管が埋設された橋が地震の影響で破損してしまうと、その地区全域で汚水の排水機能が止まってしまうため、迂闊に下水管工事を進めないのではないかと考えられる。二つ目は、浄化槽での個別処理を行っている住宅が密集しているのではないかと考えられる。一つ目の要因が関係し、一部の管路崩壊で全域が機能しなくなった場合、個別処理を行う方が良いと決定したのではないかと考えられる。以上の要因によって総管路延長が少ないのではないかと考えた。菌地区では地区の概要にも記述した通り、管路の情報が少なく、正確な管路の位置が分からない特徴がある。しかし、菌地区は御坊市の中心地であり、また御坊市役所があり、多くの人口を抱えることから地震による管路の被害による影響が大きいため、早急に管路の耐震化を行うべきである。

第2章 津波による水源としての河川水の変化

1. 研究の目的、方針、および経過

震災によって上水道の管路に損害がない場合であっても、水道水源の河川水が津波によって塩分が上昇することにより、利用できなくなる。それは震災時に発生する津波が河川を遡上することによって、河川水の塩分濃度が上昇するためである⁴⁾。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震時に発生した津波によって、河川や地下水の塩分濃度の上昇が確認された⁵⁾。発生が予測されている南海トラフ巨大地震で、和歌山県は震度6弱-震度7の被害を受けるとされている。また、和歌山県が発表している南海トラフ巨大地震津波浸水想定図によると、御坊市や印南町は津波の被害も発生すると考えられているため、水道水源の河川水や井戸水の塩分濃度の上昇が懸念されている。

そこで本章では、和歌山県印南町の取水源である日高川内の地点Aを対象に、災害時に津波の影響により上昇した塩分を除去するまでに必要な水量及び期間の推定を目的とする。経過として日高川の土壌を用いて、津波の影響をどの程度の河川水量をもって除去することが可能かについて実験を用いて明らかにすることができた。

2. 得られた結果と具体的な結論

2-1 調査概要

図5に示すように和歌山県紀中に位置する日高川を対象に調査を行った。調査地点は地点Aでこの周辺及び上流では家屋が少なく、自然が多い環境となっている。調査期間は2023年1～2月である。



図5 研究対象地（地点A）

2-2 試料採取法及び測定方法

図6に示すように、縦 40 cm、横 53 cm、奥行 41 cm の透明の NF ボックスに電動ドリルにて短側面に4つずつ、底面に 16 個の排水用の穴を設けた。その容器に、日高川の A 地点の川底より採取した土を 10 cm 入れた。その土壤に海域より採水してきた海水を 10L 投入し、津波によって塩分が上昇した状態に近づけた。これを初期状態として、その状態から定量の水道水または河川水を複数回に分けて入水し浄化（塩分除去）を実施した。本実験では、水道水または河川水を 1 度に 5 L または 10 L 投入し、塩分除去が完了するまでの水量を比較した。次の入水は、前入水の透水が完了してから行った。短側面からの排水を排水 A、底面からの排水を排水 B とし、入水ごとにそれぞれの電気伝導度を測定した。排水 A と排水 B に分けた理由は、排水 A は土壤の表面の塩分を除去するのに利用され、排水 B は土壤全体の塩分を除去するのに利用されるため、除去対象が異なることからその違いを把握するために行った。入水量のうち、排水 A の水量の計測を行い、入水量から排水 A の水量を減じたものを排水 B とした。水道水または河川水の投入を完了する判断の方法として、排水の電気伝導度が水道水または河川水と同じかそれに近い数値に収束するまでとした。今回の実験で用いた水道水の電気伝導度は 5.70～6.40 mS/m、日高川の河川水の電気伝導度は 5.40～5.80 mS/m であり、排水 A と B とともにこの数値まで電気伝導度が低下することを目標とした。また、実験に用いた水道水は日高川由来のものであった。毎回透水が終了するまでの時間を計測し、透水にかかるまでに必要な時間の平均も求めた。

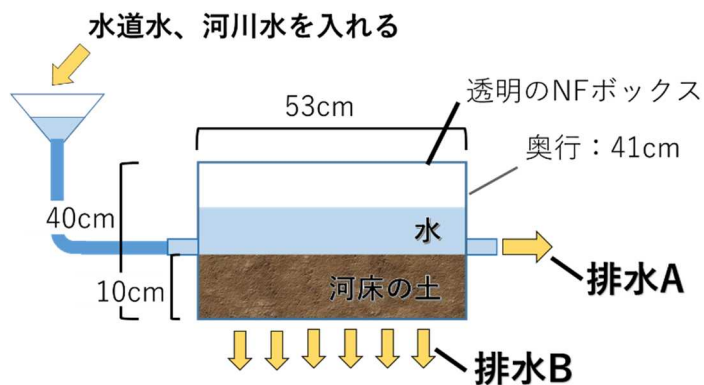


図6 実験方法について

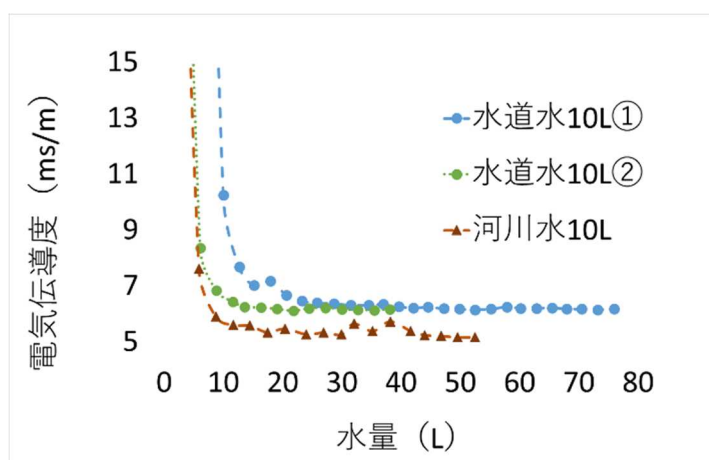


図7 排水Aの水量と電気伝導度の結果

2.3 結果

図7に排水Aの水量とその電気伝導度の結果を示す。凡例に示す10Lとは、水道水または河川水を10Lずつ投入したことを意味する。排水Aと排水Bを合わせた量が10Lとなるため、それぞれの最初のプロットは10Lより少ない量となっている。最初の水量によって電気伝導度は10 mS/m以下まで減少し、ある程度水量を加えると一定の値を示した。「水道水10L」は、排水Aが22 Lまたは23 Lになると一定の値となった。「河川水10L」については、さらに少なく排水Aが10L程度となると一定の値となり、河川水の方がより早く土壤の塩分除去を完了することができる結果となった。

次に図8に排水Bの水量と電気伝導度の結果を示す。凡例は上記と同様で10Lとは、水道水または河川水を10Lずつ投入したことを意味する。また排水Aと排水Bを合わせた量が10Lとなるため、同様に最初のプロットは10Lより少ない量となっている。「水道水10L」は73Lまたは89Lで一定の値となった。「河川水10L」については、排水Aと同様で水道水より少ない水量で土壌の塩分除去が完了する結果となった。

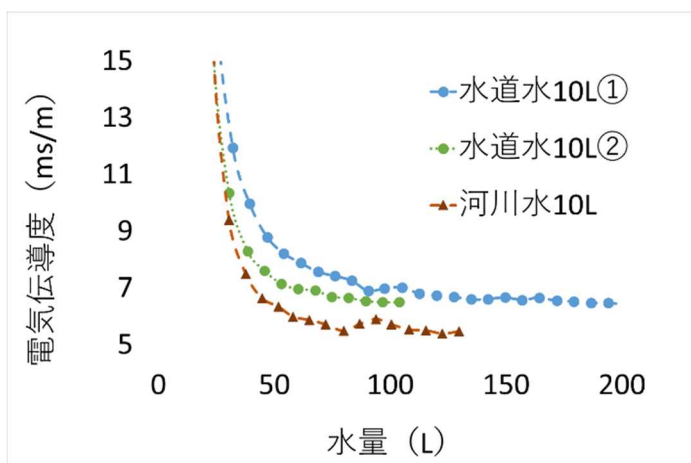


図8 排水Bの水量と電気伝導度の結果

以上のことから水道水を用いるより河川水を用いる方が土壌の塩分を除去する

ために必要な水量は少ないことが分かった。水道水も同じ日高川を起源とする河川水であるが、本研究室で採水してきた河川水の方が電気伝導度の値が低いことから、より多くの塩分を除去することができた可能性がある。本研究室では5Lについても実験を行ったため、その結果を表6に示す。「5L」とは、1度に土壌に加える水道水または河川水の量を意味する。またそれぞれの水量は、塩分の除去が完了するのに必要な値である。完了する値として水道水または河川水の電気伝導度と同様または近似的な値を示した時とした。前述の通り水道水の電気伝導度は5.70～6.40m s/m程度、日高川の河川水の電気伝導度は5.40～5.80m s/mであった。参考までに完了と判断したときの電気伝導度の値を示す。この表では、排水Aと排水Bに分けて示している。

2.4 考察

本研究では、NFボックスに対象地点の河床から採取した土壌を入れて実験を行った。NFボックスの面積は、410mm×530mmとなっている。排水Aは表面部分を浄化するために使われた水で、排水Bは表層及び土壌内を浄化するために使われた水となる。水道水5Lの2回(①と②)の実験でおよそ2倍程度の差異を示したが、2回行った結果については平均した値を用いて考察を行う。水道水または河川水による排水Aの水量は、5Lと10Lでおよそ7倍の大きな差異を示した。この差異を示した理由として、5Lの場合は多くが土壌に浸透し、排水Aが少なくなったと考えられる。排水Bについて

表6 塩分除去完了時に排水A及び排水Bの電気伝導度及び水量の結果

	排水A		排水B	
	電気伝導度 (ms/m)	水量 (L)	電気伝導度 (ms/m)	水量 (L)
水道水5L①	6.36	3.2	6.68	56.53
水道水5L②	6.99	6.99	6.95	69.26
水道水10L①	6.47	22.64	6.91	89.06
水道水10L②	6.2	23.86	6.7	73.33
河川水5L	5.5	3.38	5.7	85.4
河川水10L	5.48	19.79	5.72	70.65

は、河川水 5 L の方が 10 L と比較して必要な水量が多くなることがあり、逆に水道水のように 10 L の方で水量が多くなる場合があった。その差は、排水 A のような 7 倍の違いを示すことがなかった。よって 5L と 10L に大きな差異はなく、かつ排水 A のように加える水量の違いによる変化についても関係性を示さなかった。浄化が完了するために必要な水量は、塩分の除去のために加えた総水量が排水 A と排水 B を足したものとなることから、5L の方で少なく、10L の方で多い結果となった。よって津波の影響を受けた土壌を浄化する方法として、少ない水量で徐々に浄化する方がより浄化に必要な総水量を少なくすることができることが分かった。

本研究室で東北珪砂を用いた塩分除去の実験において、浄化に必要な水量は面積に比例することが分かっている。そのことから、河川の面積と実験で用いた容器の面積から必要な水量を推定し、津波の影響を受けた土壌を浄化するために必要な水量を推定する。仮定として津波の影響を受ける日高川下流の土壌はすべて本実験で行った土壌とする。河川の面積は 1,200,000 m²、容器の面積は 0.2173 m²であった。よって面積の差は 5,522,319 倍となる。必要な総水量は、排水 A と排水 B を合わせたものであるため、水道水及び河川水すべての値を平均して用いる。その結果、5 L ずつで浄化することを想定すると浄化に必要な総水量は、74.92 L となり、10L ずつの場合は、99.77 L となる。よって必要な総水量は、必要な総水量及び面積差より 413,732 m³そして 550,961 m³となる。日高川の水量は、少ない時で 10 m³/s となっている。よって必要な総水量を確保するためには、11 時間及び 15 時間が必要となる。よって津波の影響を日高川が受けた場合、半日程度で元の状態に戻ることが予測される。

参考文献

- 1)高知県 HP (2013) : 「被害想定 の 計 算 方 法」 ,
https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/files/2013051500465/2013051500465_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_95462.pdf
- 2)神奈川県 HP—地震被害被害想定調査報告書手法編 : 第 5 章 ライフライン被害の想定手法,2015,
<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/16375/768706.pdf>
- 3)国土交通省 : 管路施設の被害予測手法について,
https://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/info/seisaku_kenkyu/jishinhigai/04.pdf
- 4) 吉川泰弘, 阿部孝章, 中津川誠, 船木淳悟 : 河川津波による塩水遡上現象に関する研究, 海岸工学, 71 巻, 2 号, 2015.
- 5) 茅根康佑, 盧敏, 田中仁, 梅田信, 真野明, 佐々木幹夫ら : 東北三県における津波の河川遡上特性, 水工学, 70 巻, 4 号, 2014.

その他 本報告に関する外部発表

- 1) 影澤拓知・横田恭平・村尾琉翔 : 下水道整備率が低い地域での震災による管路の被害, 第 57 回日本水環境学会年会 (2022 年度)
- 2) 川島七聖, 横田恭平 : 津波による河川への海水の残存量及び海水成分の除去に必要な河川水量の推定, 第 57 回日本水環境学会年会 (2022 年度)

謝辞

本研究において、和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科の影澤拓知くん、川島七聖さん、村尾琉翔くんには実験の補助、データの収集及び整理、結果の考察を考える上で多大なご協力をいただいた。ここに謝意を示す。