



鹿島地域の液状化噴砂と埋設管路被害との空間的関係

加藤, 蒼二
鋤田, 泰子

(Citation)

日本地震工学会論文集, 15(7):7_404-7_415

(Issue Date)

2015

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003292>





鹿島地域の液状化噴砂と埋設管路被害との空間的關係

加藤蒼二¹⁾、鋤田泰子²⁾

1) 非会員 神戸大学大学院工学研究科、学士

e-mail : 141t115t@stu.kobe-u.ac.jp

2) 正会員 神戸大学大学院工学研究科、准教授 博(工)

e-mail : kuwata@kobe-u.ac.jp

要 約

茨城県の利根川下流域では、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震とその余震で広域な液状化が発生した。本研究では、先行研究において液状化によって管路被害が集中して発生した地域を対象に、地震発生後の航空写真から噴砂痕が見られた範囲を特定し、噴砂域にある上水道・下水道管路の被害発生状況と被害位置との空間的關係について明らかにすることを試みた。その結果、噴砂域にある水道管路被害率は、管路被害集中地域のそれよりも約10倍高くなった。また、噴砂域にある管路延長が長くなるにつれ、上下水道管路の被害の発生率は高くなり、水道管路被害位置は噴砂域の中央から噴砂域の境界に移動することがわかった。また下水道管路においては、連続した2区間で被害がある場合は、中央の人口周辺で噴砂が発生することが多いことが確認できた。

キーワード： 鹿島地域、液状化噴砂、管路被害率、空間的關係

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震およびその余震により、関東地方の利根川河口域や東京湾岸では広域な液状化が発生した。上水道や下水道の地震被害報告書によると、これらの液状化地域の管路被害は強震動地域や津波浸水地域の被害に比べて甚大であった^{1),2)}。

液状化地域における地中管路の被害については、新潟地震や兵庫県南部地震などの地震被害事例に基づき、液状化地盤における地盤ひずみと管路被害との関係から分析されてきた^{3),4)}。東北地方太平洋沖地震においては、戸井田・山崎⁵⁾が千葉県浦安地域における航空写真に基づく分析から、液状化面積率がある値を超えると下水道管路被害が増大することを示している。これらの分析の多くは、地震前後の航空写真の座標から算出した地盤ひずみや航空写真の噴砂面積などを用いて地盤の変形や液状化の噴砂規模を定量化して、地中管路の被害との関係を明らかにしたものである。

鋤田・池尻⁶⁾は、東北地方太平洋沖地震後、鹿島地域（茨城県神栖市・鹿嶋市・潮来市、千葉県香取市を本研究では呼ぶ）を対象として、配水管の被害分布から管路被害集中地域を特定し、当該地域では液状化によって被害が多くなったことを示している。さらに、管路被害集中地域の予測には、現地形図とともに旧地形図を利用し、旧水域を把握することが重要であることを示唆している。しかし、管路被害集中地域内で液状化が発生したことは確認されているものの、液状化場所を特定できず、液状化噴砂位置と管路被害位置との空間的關係について詳細な分析には至っていなかった。また、同じ道路下に埋設されている下水道管路との被害の相関についても検討していなかった。

一方、管路被害集中地域の一部を包含する神栖市を対象に、築地ら⁷⁾は、地盤工学会と国土交通省関東地方整備局によって推定された液状化範囲および噴砂・噴水などが目視で確認できた点、液状化に関わる罹災証明が交付された建物データから液状化領域を決定し、神栖市の配水管路被害率は液状化領域と非液状化領域で約6倍の差があったことを示している。さらに、庄司ら⁸⁾は神栖市の下水道管路についても同様に、液状化領域と非液状化領域での下水道管路被害率は8.8倍もの差があることを示している。また、橋本ら⁹⁾は神栖市の深芝・平泉地域を対象に、過去の航空写真から採掘跡地の範囲を特定し、現地測量の沈下等から建物や下水道管路の被害を詳細に分析している。

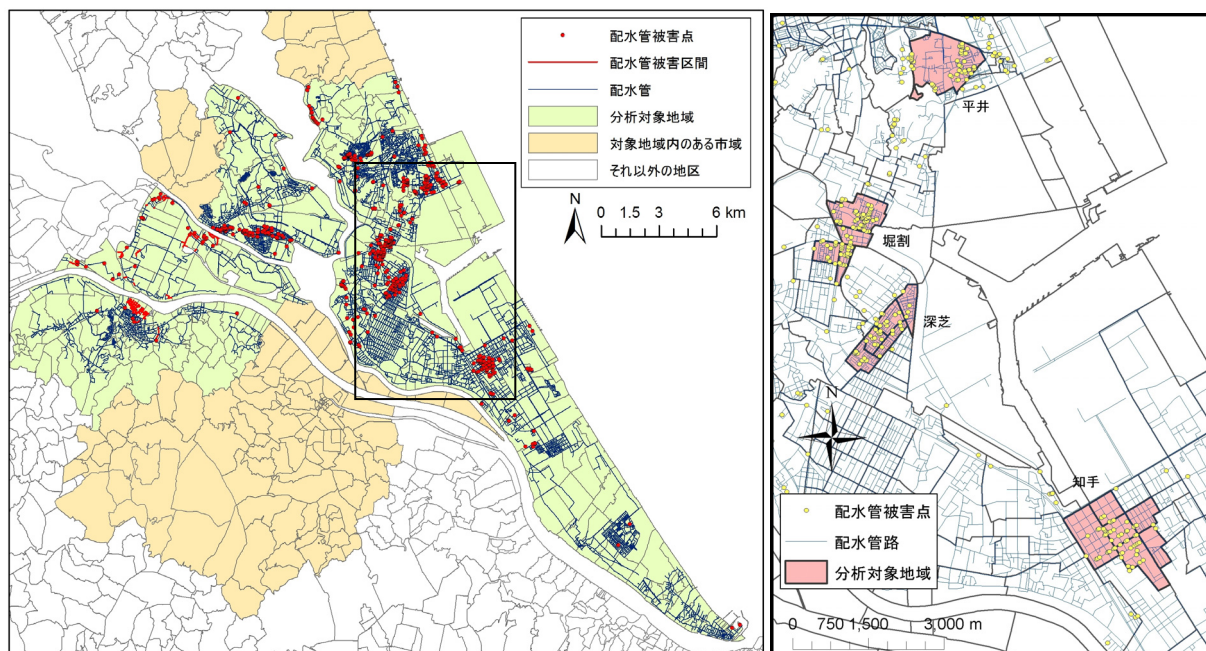
そこで、本稿では、鉾田・池尻⁶⁾の鹿島地域の管路被害集中地域を対象とした先行研究を発展させ、地震後の航空写真を用いて観測可能な液状化による地表の噴砂や路面亀裂の空間分布を特定し、噴砂域における上下水道の管路被害率を明らかにする。さらに、噴砂箇所と上下水道の管路被害位置との空間的相関を明らかにすることを試みる。そして、地震後の噴砂の航空写真が管路被害分析に活用できることを示すとともに、神栖市を対象に行われた他の先行研究との関係についても検証する。

2. 管路被害集中地域の設定と分析データベースの構築

2.1 管路被害集中地域の設定

先行研究で鉾田・池尻⁶⁾が設定した管路被害集中地域について概説する。管路被害集中地域は、鹿島地域の2県4市の水道管路（配水管）被害データから、小字（町丁目）単位の管路敷設密度が $10\text{km}/\text{km}^2$ 以上で、かつ管路被害率が $0.3\text{件}/\text{km}$ 以上の小字が複数隣接している地域とした。鹿島地域では全7地域が抽出され、いずれの地域も約 $1\sim 2\text{km}^2$ の限定された範囲であった。さらに現地調査からいずれの地域においても液状化の噴砂が確認されたことが報告されており、管路の被害集中には液状化が関係していると考えられる。また現・旧地形図の比較などから管路被害集中地域の表層には旧河川の埋立地盤や干拓地の盛土地盤、砂利採掘場の埋め戻し地盤などがあり、限定した範囲で地盤に人工改変が加えられていた。

本研究では、後述する航空写真の撮影範囲の制約から7地域の内、図1に示す4地域を対象とする。対象地域は鹿嶋市の南部と神栖市の北部に該当する。図1には配水管路と配水管の被害点も併せて示している。管路被害集中地域外にも被害箇所があるが、本研究の分析対象からは省く。



(a) 広域図⁶⁾

(b) 本研究の4ヵ所の管路被害集中地域

図1 分析対象の管路被害集中地域

2.2 噴砂痕の抽出

管路被害集中地域において噴砂と路面亀裂の範囲を抽出するため、航空写真を用いて GIS 上でデータベースの構築を行った。使用した航空写真¹⁰⁾は2011年4月1、2日に撮影されたもので解像度は25cm/pixelである。道路上の噴砂と路面亀裂の範囲は、著者らの目視判断により、Shape 形式のポリゴンで包囲した。道路上の噴砂域の判断基準は、周辺道路と比べて噴砂によって明らかに白く見える部分と水分により黒く見える部分、噴砂孔が確認できる部分とした。一方、路面亀裂の判断基準は、支持物の影であると考えられる部分を除き、道路を横断する直線域で段差を緩やかにするように復旧工事をされた箇所とした。本研究では斜め方向に帯状で道路を横断している亀裂についても横断方向の亀裂として判断している。航空写真から対象地域には道路を縦断していると判断できる亀裂はなく、実際にあったとしても面的に砂が現れるために亀裂ではなく噴砂として分類されると考えられる。図2は噴砂ポリゴンの抽出例と、その抽出した噴砂ポリゴンと管路のラインデータにインターセクト処理を施して管路上にある噴砂と路面亀裂(図2(b)の○の中)の範囲にある管路を示した一例である。

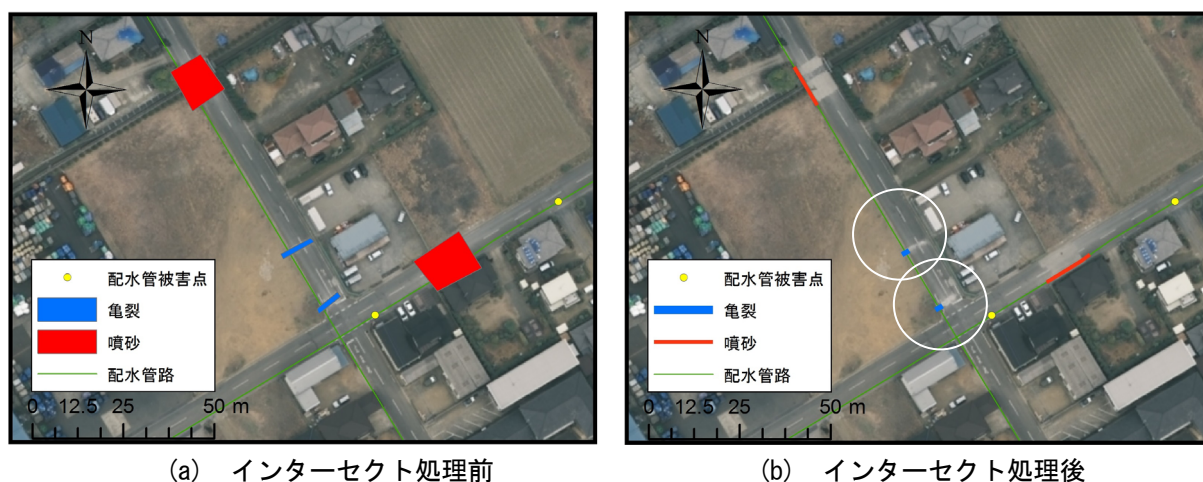


図2 噴砂内管路の抽出例

本研究では噴砂域と被害位置の関係を明らかにすることが目的であるため、データベース化には道路上の噴砂痕と路面亀裂のみを対象とした。また航空写真の撮影日は地震から3週間経過しており、噴砂が既に片付けられている場合や地物の日影により検出の見落としの可能性があるため、解像度は劣るが地震翌日に撮影されたGoogle Earthの衛星写真とも比較検証を進めた。その結果、著者らが航空写真から特定した噴砂域には衛星写真のものと大きな差異がないことを確認している。また、路面亀裂で生じた段差は、地震翌日の衛星写真から判別できない箇所もあったが、道路の段差緩和のための工事のおかげで、著者らの用いた航空写真の方が道路亀裂の範囲を特定するのは容易であった。

2.3 管路データの構築

本研究では、管路被害集中地域の上水道と下水道の管路データを扱う。水道管路データは当該地域の水道事業者から提供された管路図と被害点の紙地図をスキャナでデジタル化し、GIS上でラスタデータとして重ねた上で国土地理院の道路データを加工して作成された⁶⁾。鹿嶋市と神栖市では上水道は広く普及していることから、道路線とほぼ同じ場所に配水管が敷設されている。一方、下水道の管路データは、神栖市と鹿嶋市の鹿島処理工区4~6工区のみを提供資料を用いた。データベースの作成要領は水道と同様であるが、下水道の被害箇所は復旧点ではなく、被害延長となる。また、上水道と比較して下水道は広域に普及していないため、本研究の下水道管路の分析は堀割南部、深芝、知手、平井地域を対象とする。

図3は、堀割、深芝、知手、平井地域の配水管路と噴砂、路面亀裂上の管路、被害点を示している。同様に、図4は、堀割南部、深芝、知手、平井地域の下水道管路と噴砂、路面亀裂上の管路、被害管路を示している。いずれの地域においても液状化の噴砂、亀裂による地盤変状箇所の周辺で管路被害が発生し

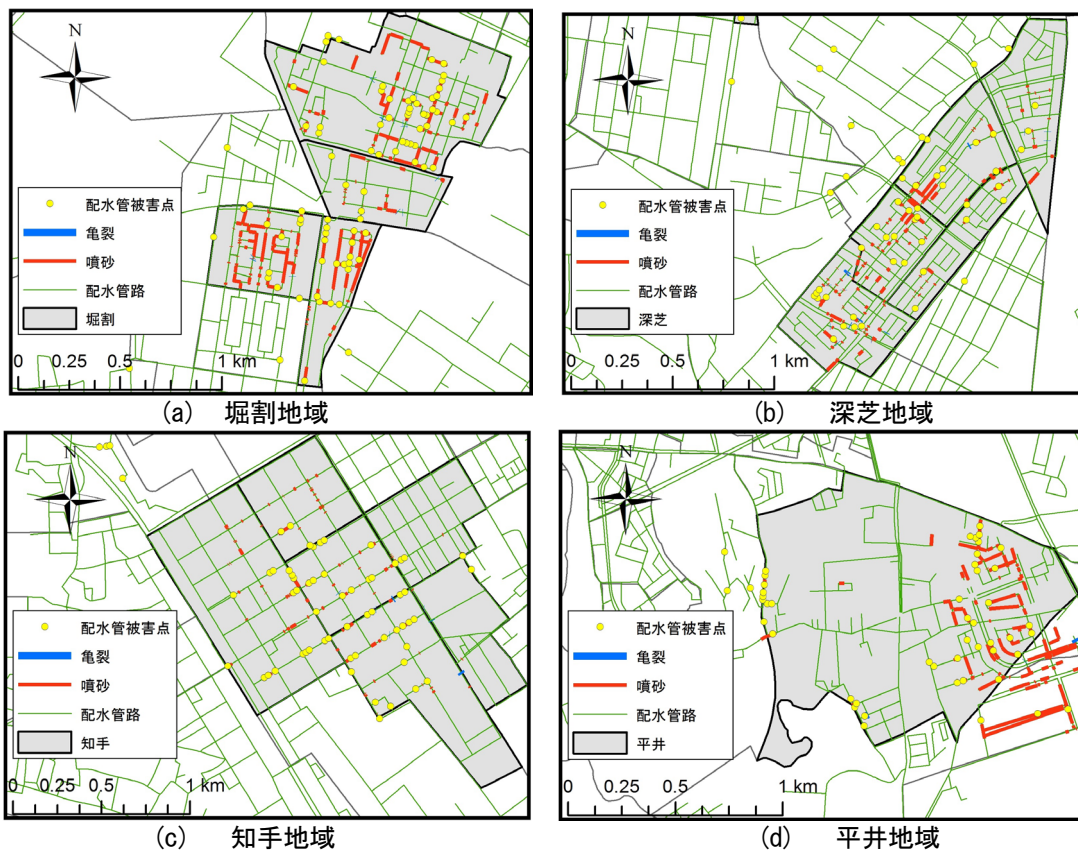


図3 分析対象地域の噴砂範囲と水道管路の被害

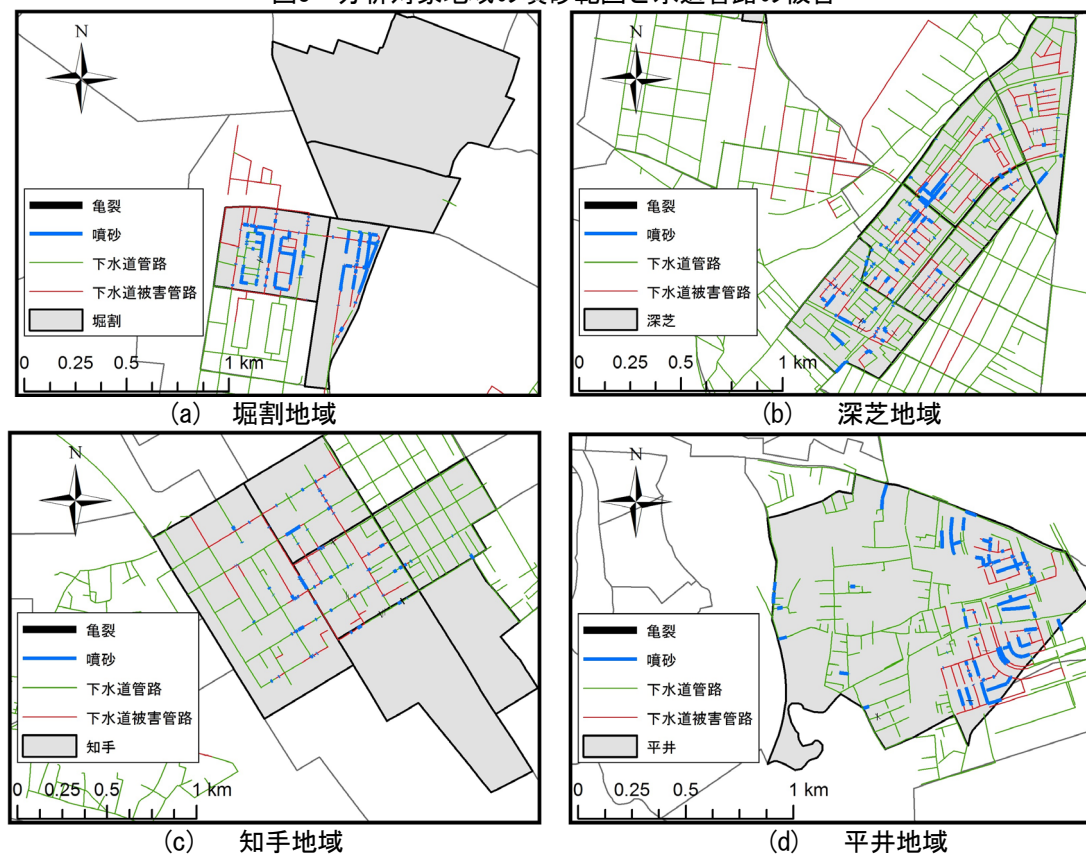


図4 分析対象地域の噴砂範囲と下水道管路の被害

ていることが確認できる。また、平井、堀割地域では、液状化噴砂上の管路延長が比較的長い、知手地域では短くなっている。

既報^{7),9)}によると堀割地域は川の埋立地で、地下水位はGL-1～-2mにあり、表層から5、6mの軟弱な埋土地盤の地下水位以下で液状化したと考えられる。深芝地域は砂利の掘削跡地で、地下水位はGL-2～-3mと比較的深い。地下水位がGL-3mの地域では地下水位以下で液状化をしても噴水することが少なかったと橋本らは指摘している。平井地域ではボーリング資料を確認できなかったが、砂丘の後背湿地で集水地形であり、地下水位は高かったと考えられる。一方、知手地域は砂丘間の低地で、前者の3地域とは地形条件が異なる。そのため、堀割と深芝、平井地域では噴砂範囲が広く、知手地域では噴砂範囲は狭く分散していたと考えられる。

現地事業者へのヒアリングから、本研究で扱う水道、下水道管路の埋設深度は地域や口径によって異なることはなかったため、一般的なものとして0.6～1.0m程度と考えられる。したがって、本研究で扱う水道、下水道の管路被害はほぼ地表面の変状を捉まえている。地下水位が深く、液状化しても噴砂が地表に現れてこない場合はそれほど管路にも影響がないものと見なせる。液状化を対象とした研究では、航空写真による噴砂判読で液状化範囲を決定するのは、不十分であるが、本研究のように管路被害との相関を見る上では支障がないものと考えられる。

3. 噴砂域の管路被害状況

3.1 噴砂域における水道管路被害率

管路被害集中地域における噴砂痕・路面亀裂の範囲内にある管路を噴砂内管路とし、噴砂内にある被害件数を噴砂内管路の延長で除したものを管路被害率とした。表1は管路被害集中地域外と管路被害集中地域、管路被害集中地域の噴砂範囲内における被害データを整理したものである。噴砂痕・路面亀裂の範囲内の146被害箇所内、路面亀裂の箇所に管路被害箇所が一致したものは12件あり、全体の8.2%に相当する。そのため、被害箇所の多くは噴砂範囲の中にある。

当該地域の配水管路の被害形態については、那波ら¹¹⁾により、鹿嶋市では配水管路の全208被害箇所中、継手抜けが208箇所、神栖市では配水管路の全161被害箇所中、管体亀裂が1箇所、管体割れが2箇所、管体折れが1箇所、継手抜けが156箇所、継手突込みが1箇所と調査報告されている。本研究のデータベースには被害点に被害形態の情報を持ち合わせていないが、他の研究から当該地域の被害形態はほぼ全部が継手の抜けと見なせる。

表1より、噴砂範囲内の管路被害件数は管路被害集中地域の被害件数の50～84%を占めており、半数以上が液状化による噴砂、亀裂が被害要因であったと考えられる。噴砂範囲の管路被害率は平井地域では11.2件/km、堀割地域で10.1件/km、深芝地域で10.8件/km、知手地区で18.2件/kmといずれも高い値を示している。既報⁹⁾で4市の管路被害集中地域の管路被害率はそれ以外の地域に管路被害集中地域よ

表1 分析対象地域の水道管路被害率

		噴砂 痕数	路面 亀裂数	管路被害(件) (亀裂一致箇所数)	管路延長 (km)	管路被害率 (件/km)
4市の管路被害集中地域外				259	1379	0.19
管路被害 集中地域	平井			43	19.1	2.25
	堀割			75	22.7	3.30
	深芝			40	28.7	1.39
	知手			54	30.4	1.78
集中地域の 噴砂範囲	平井	84	2	32(1)	2.86	11.19
	堀割	223	31	63(5)	6.24	10.10
	深芝	163	25	27(2)	2.49	10.84
	知手	116	16	24(4)	1.32	18.18

りも1オーダー大きいことを指摘していたが、噴砂範囲の被害率は10件/kmを超え、管路被害集中地域の被害率よりもさらに1オーダー大きくなることがわかった。

前述した築地ら⁷⁾の分析では、神栖市において計測震度、PGV別に管種、口径で管路被害率が整理されているために、本研究の管路集中地域や噴砂範囲と直接比較することはできないが、神栖市全体の非液化化地域で管路被害率は0.16件/km(延長647.9km、被害105件)、液化化地域では1.09件/km(延長103.0km、被害113件)である。これらと表1を比較すると、築地らの非液化化地域は本研究の鹿島地域の管路被害集中地域以外にほぼ整合する。一方、築地らの液化化地域よりも本研究の管路被害集中地域の管路被害率が低いことから、液化化地域の中に管路被害集中地域が含まれるものと考えられる。本研究で示した、10件/km以上の噴砂範囲の管路被害率は、築地らの液化化地域よりもさらに範囲を絞った管路被害率といえる。

3.2 噴砂範囲内における下水道の管路被害率

水道管路と同様に、管路被害集中地域の下水道管路被害率とさらにその噴砂範囲における管路被害率について検討する。下水道管路の被害率については被害延長を管路延長で除したものとする。表2に管路被害集中地域とその噴砂範囲での下水道管路被害率を示す。分析対象とした管路被害集中地域の下水道の管路被害率は堀割地域南部が65%、深芝地域が25%、知手地域が24%、平井地域が26%と、4地域とも高い被害率である。さらに、管路被害集中地域の噴砂範囲では、管路被害率は50~73%と高くなることが示された。

しかし、水道では管路被害集中地域の被害件数の内、半数以上が噴砂範囲で発生したものと比べて、下水道の場合、管路被害集中地域の管路被害延長に対する噴砂範囲の管路延長の比率は、延長ベースで、堀割地域南部で44%、深芝地域で14%、知手地域で12%と比較的少ない。つまり、地表に噴砂が確認できずとも被害があったと集計されている。この原因として、集計単位が延長ベースであったことが考えられる。下水道管路の場合、被害点ではなく人孔区間の延長が被害単位になる。そのため、液化化で人孔区間の一部が撓んで滞水すれば、その人孔区間全部に被害があったと見なされる。そこで下水道管路被害においては集計単位の見直しが必要であると考え、2013年11月22、23日に堀割南部、深芝、知手地域を対象に、現地調査を行い、人孔の数と位置を調査し、人孔区間単位での管路被害率に見直した。平井地域に関しては、提供資料に人孔位置のデータが含まれていたため、その資料を用いた。

表3に人孔区間単位での下水道管路被害率を示す。人孔区間単位の場合は人孔区間の一部でも噴砂が確認できる場合は、その区間は噴砂範囲の区間としている。その結果、噴砂範囲の管路被害率は若干減少したが、それでも噴砂範囲の下水道管路は33%以上の比率で被害が発生している。さらに、管路被害集中地域の下水道管路被害区間の40~77%が噴砂範囲での被害であると確認でき、水道管路と同様に高い比率で噴砂範囲において被害が発生していることが確認できた。集計単位によって知手地域と深芝地域

表2 分析対象地域の延長単位での下水道管路被害率

	管路被害 (km)	管路延長 (km)	管路被害率 (km/km)
管路全体	25.18	195	0.13
管路被害集中地域			
堀割南部	4.55	6.97	0.65
深芝	8.46	33.46	0.25
知手	5.01	20.52	0.24
平井	5.39	21.08	0.26
噴砂範囲			
堀割南部	1.99	2.71	0.73
深芝	1.20	2.39	0.50
知手	0.62	0.99	0.63
平井	1.87	3.19	0.59

表3 分析対象地域の区間単位での下水道管路被害率

	管路被害 (区間)	管路延長 (区間)	管路被害率 (区間/区間)
管路全体	781	6,060	0.13
管路被害集中地域			
堀割南部	98	152	0.64
深芝	192	767	0.25
知手	109	450	0.24
平井	131	559	0.23
噴砂範囲			
堀割南部	75	110	0.68
深芝	77	231	0.33
知手	49	135	0.36
平井	76	136	0.56

の管路被害率は低くなった。これは、前述したようにこれらの地域の噴砂上の管路延長は短いものが多く、短い噴砂が含まれた被害のない管路が多数存在するため、噴砂域の管路の全体数が増加してしまったということが考えられる。

先行研究との関係であるが、庄司らは神栖市と他2市の下水道管路被害のデータから被害予測式を構築している。直接的に神栖市だけのデータを比較することはできないが、被害予測曲線が飽和する値が非液状化地域で0.028km/km、液状化地域で0.247km/kmと示しており、概ね庄司らの液状化地域は本研究の管路被害集中地域と同じ液状化程度であったと考えられる。

3.3 深芝地域の採掘跡地と管路被害および液状化の関係

鉾田・池尻⁶⁾は、前述したように現・旧地形図の比較などから、管路被害集中地域の表層地盤には河川の埋立地盤や干拓地の盛土地盤、砂利の採掘跡も埋め戻し地盤など、限定した範囲で人工改変が加えられていたことを確認し、管路被害集中地域の液状化はこれらの人工改変によるところの影響が大きいと示唆している。実際にこの人工改変が液状化およびに管路被害にどの程度影響を及ぼすのかについて、橋本⁹⁾は過去の航空写真から特定された深芝地区の採掘跡地の空間情報と合わせて分析を行った。

図5、図6に深芝地域の採掘跡地（橋本らの論文の図をトレースしたもの）と噴砂範囲を示す。大規模な噴砂上の管路が採掘跡内に多くあることが確認できる。また表4に採掘跡地での水道・下水道管路被害率を示す。下水道管の区間については、噴砂の定義と同様に、管路区間の一部でも採掘跡地に包含されている場合は、採掘跡地内の区間と定義した。ここから、深芝地域の噴砂範囲の水道管路延長2.49kmのうちの73%が採掘跡地内での噴砂であると確認できた。採掘跡地内の噴砂範囲での被害率は水道管路においては7.18件/kmと深芝地域の噴砂範囲での被害率よりも若干小さい値となったが、高い被害率を示した。下水道管路においては採掘跡地内の噴砂範囲での被害率は52%と大きな値となった。

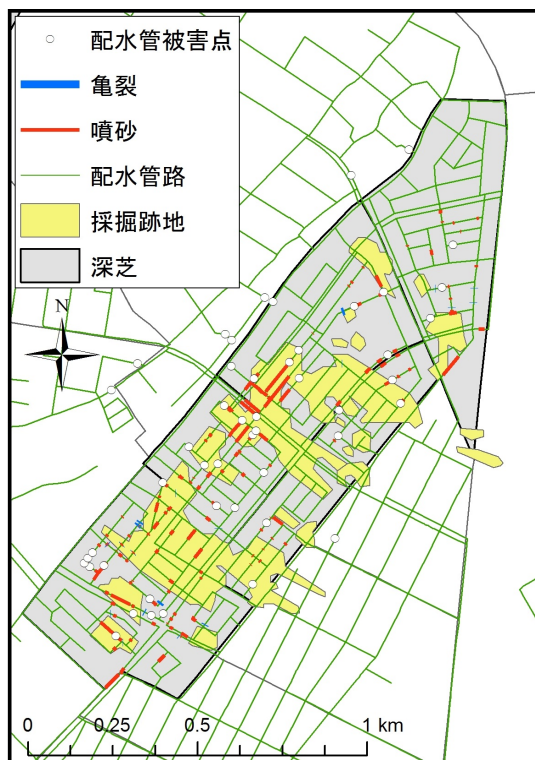


図5 深芝地域の採掘跡地と水道管上の噴砂位置

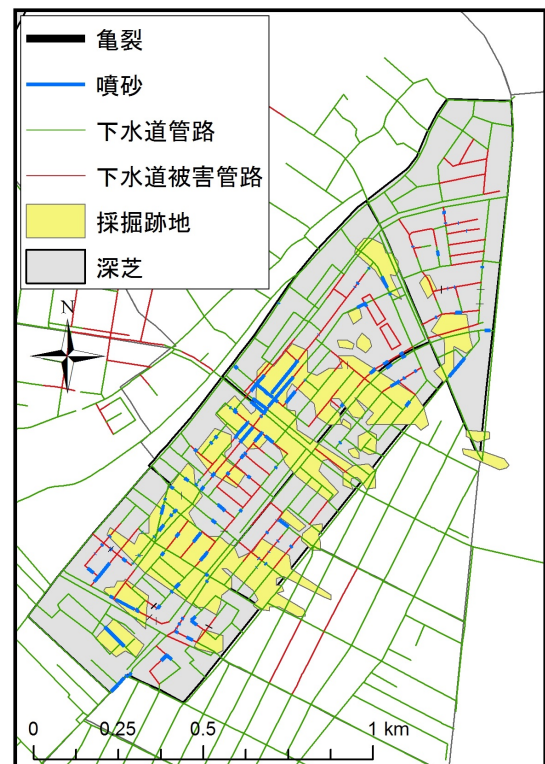


図6 深芝地域の採掘跡地と下水道管上の噴砂位置

表4 採掘跡地における水道・下水道管路被害

	水道管路被害 (件)	管路延長 (km)	水道管路被害率 (件/km)	下水道被害 (区間)	総下水道管路 (区間)	下水道管路 被害率
深芝地域全体	42	28.7	1.39	197	767	0.25
噴砂範囲	27	2.49	10.84	77	231	0.33
採掘跡地内	17	9.71	1.75	81	289	0.28
採掘跡地内噴砂範囲	13	1.81	7.18	35	67	0.52

3.4 噴砂範囲内における上下水道管路の被害相関

次に水道、下水道管路の両被害の空間的な相関について検討を行う。管路被害集中地域において、水道管路と下水道管路が同じ道路上に敷設されている場合について、水道管路の被害箇所を基準にして下水道管の被害の有無、噴砂と路面亀裂の有無を確認した。水道と下水道がそれぞれ道路の反対側車線に敷設されている場合もあるが、本研究では同じ道路上にそれぞれの管路があれば隣接していると見なしている。表5は管路被害集中地域の4地域における水道管路、下水道管路の被害を整理したものである。堀割地域では北部の下水道管路のデータがないため、隣接している下水道管路がない水道管路の被害が半数以上ある。

堀割地域では噴砂の有無に関わらず全ての水道管路被害箇所隣接する下水道管路に被害があった。それ以外の地域では、液状化の噴砂範囲にある水道管路の被害箇所隣接する下水道管路にも被害がある率は平均して70%以上が相当することが分かった。一方で噴砂地域にない水道管路の被害箇所でも隣接する下水道管路に被害が平均して約60%発生しているが、噴砂範囲の方がその相関が高くなる。

表5 分析対象地域の上水道管路・下水道管路の被害の相関

地区	下水道被害状況	水道管被害 (噴砂あり) (件)	隣接下 水道管 の被害 の比率	水道管被害 (噴砂なし) (件)	隣接下 水道管 の被害 の比率	水道管被害 小計(件)	隣接下 水道管 の被害 の比率
堀割	下水道被害有	14	100.0%	7	100.0%	21	100.0%
	下水道被害無	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
	隣接下水道無	49	－	5	－	54	－
	小計	63		12		75	
深芝	下水道被害有	16	59.3%	9	69.2%	25	62.5%
	下水道被害無	11	40.7%	4	30.8%	15	37.5%
	隣接下水道無	0	－	0	－	0	－
	小計	27		13		40	
知手	下水道被害有	12	66.7%	9	52.9%	21	60.0%
	下水道被害無	6	33.3%	8	47.1%	14	40.0%
	隣接下水道無	9	－	10	－	19	－
	小計	27		27		54	
平井	下水道被害有	20	71.4%	2	22.2%	22	59.5%
	下水道被害無	8	28.6%	7	77.8%	15	40.5%
	隣接下水道無	4	－	1	－	5	－
	小計	32		10		42	
小計	下水道被害有	62	71.2%	27	58.7%	89	66.9%
	下水道被害無	25	28.8%	19	41.3%	44	33.1%
	隣接下水道無	62	－	16	－	78	－
	小計	149		62		211	

4. 液状化噴砂と管路被害との空間的關係

4.1 液状化噴砂と水道管路被害との空間的關係

分析対象地域における噴砂と水道管路の被害位置との空間的關係について考察する。図6は管路被害集中地域の噴砂長毎の件数とその延長に1件以上の被害がある噴砂長の件数を示している。本分析地域では、管路上に15m以下の比較的短い範囲での噴砂が多くみられ、噴砂長が長くなるにつれて噴砂件数は減少する。管路上に100mを超える範囲で噴砂している箇所は少なかった。また、1件以上の管路被害がある噴砂箇所も、噴砂長が長くなるにつれて少なくなるが、噴砂箇所あたりの被害発生率は、噴砂延長が長くなるにつれて100%に近づく傾向がある。対象地域の配水管路の口径は100mm以下が主で、その直管の規格管路長は4または5mである。本分析から管路長が2、3本以下の範囲の噴砂が発生すれば、管路被害の発生率は20%程度となることがいえる。

噴砂範囲の規模と水道管路被害位置との関係について検討をする。図7に示すように噴砂範囲上の管路長 L と管路被害の被害位置について計測した。図7は噴砂範囲上の管路長別に被害箇所の分布を示し

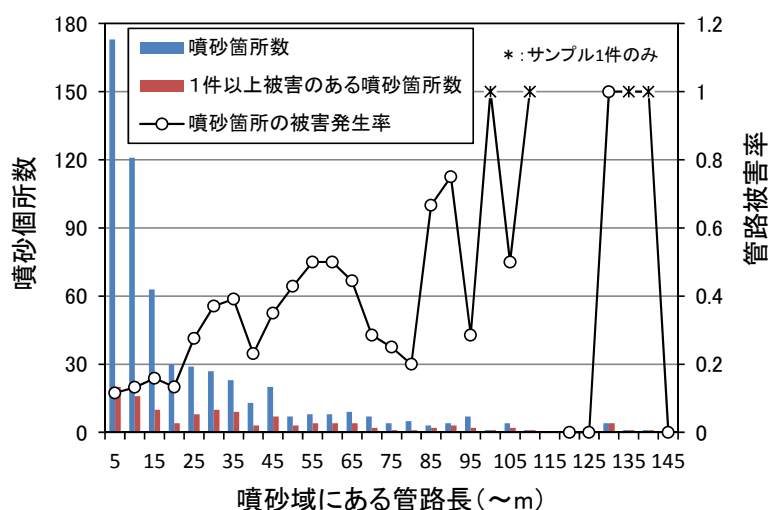
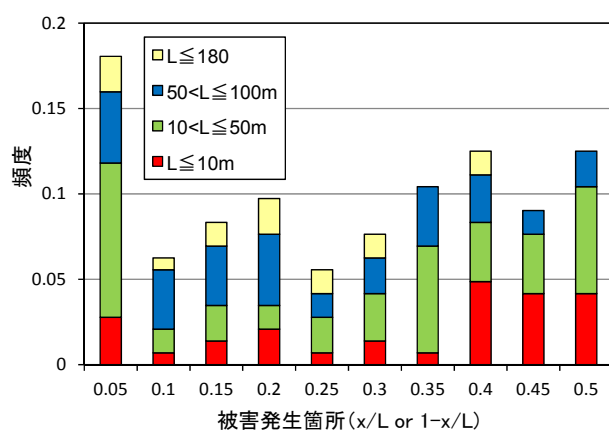
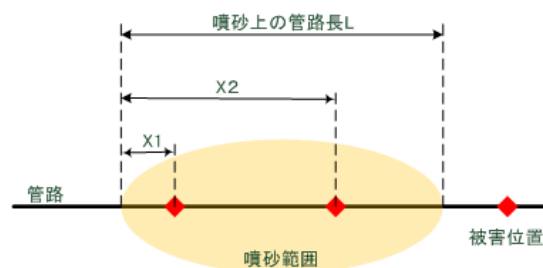


図6 噴砂長毎の噴砂箇所数、被害箇所数と被害発生率



(a) 噴砂域の水道管路被害の発生箇所分布



(b) 被害位置のイメージ図

図7 噴砂域における被害発生位置

たものである。一管路長に複数個の被害がある場合には、それぞれの位置を計測している。図7の横軸は被害箇所を位置を管路長で基準化したもので、0に近ければ被害は噴砂域の境界で発生しており、0.5に近ければ噴砂範囲の中央にあることを示す。噴砂範囲上の管路長Lが10m以下のものについては噴砂範囲の中央に被害が集中している。噴砂範囲上の管路長が10m以上になると、噴砂範囲の中央もしくは噴砂範囲の境界近くで被害が発生する頻度が高くなる。直管の管路長を考慮すると、噴砂が管路2本以下の範囲の場合には中央付近に変形が集中し、管路3本以上の場合には中央だけでなく液状化による噴砂が発生していない地盤との境界に大きな地盤変状が生じるために、境界部の方が被害の発生が多くなる。

4.2 液状化噴砂と下水道管路被害との空間的關係

次に分析対象地域における噴砂と下水道管路の被害区間との空間的關係について考察する。まず下水道管路被害区間上に噴砂が確認できる箇所の噴砂範囲の規模と、人孔上の噴砂の有無について航空写真から確認した。噴砂範囲が複数の人孔区間にわたっている場合は被害区間長を1区間に区切るのではなく、複数区間被害とした。下水道管路は水道管路と異なり、被害状態が被害箇所ではなく、被害区間として定義されているため、噴砂箇所と被害箇所との関係は明らかにできない。そのため、下水道では、人孔区間長に対する噴砂範囲の割合を基準に分析を行った。図8は被害人孔区間長別の噴砂範囲の割合を示している。噴砂範囲のある人孔区間長は、1区間のものが多く、人孔区間長が長くなるにつれてその件数は減少する。人孔1区間の被害区間内に噴砂がある場合は噴砂範囲の割合は3割以下のものが多く、噴砂範囲の割合が7割まで割合の増加につれて件数が減少するが、8割以上になるとやや件数が増える傾向がある。人孔2区間に対する噴砂範囲の割合の分布も同様である。人孔3区間以上になると、噴砂範囲の割合が8割を超えるものが増え、噴砂延長も100mを超えるものが増え見受けられた。噴砂範囲の人孔区間が短いほど部分的な噴砂でも被害に至っており、このような部分的な噴砂とともに複数人孔区間のほぼ全体で液状化の噴砂が見られて被害に至る大規模噴砂のケースがあることが確認できた。

下水道管路の液状化においては、管路周辺と人孔周辺の地盤の液状化の2パターンが考えられる。そこで、被害人孔区間ごとに人孔周辺の噴砂の有無について分析を行った。表6に被害人孔区間毎の人孔周辺の噴砂の有無を噴砂範囲割合別に示す。図8において噴砂範囲の割合で件数が異なったために、噴砂範囲の割合を30%未満、80%未満に分類した。人孔1区間の被害で噴砂範囲の割合が30%未満の場合、被害件数が42件に対し、人孔周辺に噴砂があるのは11件（26%程度）と比較的少ないが、噴砂範囲の割合が30%

表 6 被害区間数毎の人孔上の噴砂の有無

被害人孔区間	噴砂範囲の割合 P (%)	被害件数 (件)	被害件数の内、人孔上の噴砂	
			(件)	(%)
1 区間	$0 < P < 30$	42	11	26%
	$30 \leq P < 80$	30	11	37%
	$80 \leq P \leq 100$	17	7	41%
2 区間	$0 < P < 30$	26	25	96%
	$30 \leq P < 80$	16	16	100%
	$80 \leq P \leq 100$	11	11	100%
3 区間以上	$0 < P < 30$	8	8	100%
	$30 \leq P < 80$	6	6	100%
	$80 \leq P \leq 100$	9	9	100%
計	$0 < P < 30$	76	44	58%
	$30 \leq P < 80$	52	33	63%
	$80 \leq P \leq 100$	37	27	73%

以上になると人孔周辺に噴砂が発生する件数が40%近くまで増加する。人孔2区間以上になると、噴砂範囲の割合に関わらずほぼ全ての被害場所の人孔周辺に噴砂が発生している。人孔1区間の被害では、人孔区間の中に小規模の噴砂がある場合が多く、連続する人孔2区間以上の被害では、噴砂が部分的ではあるものの、中央の人孔上に噴砂が発生している場合が多い。本分析対象の全被害人孔区間165件の内、人孔周りで噴砂が確認できたものは104件（63%）であり、それ以外の37%は管路上の噴砂であった。

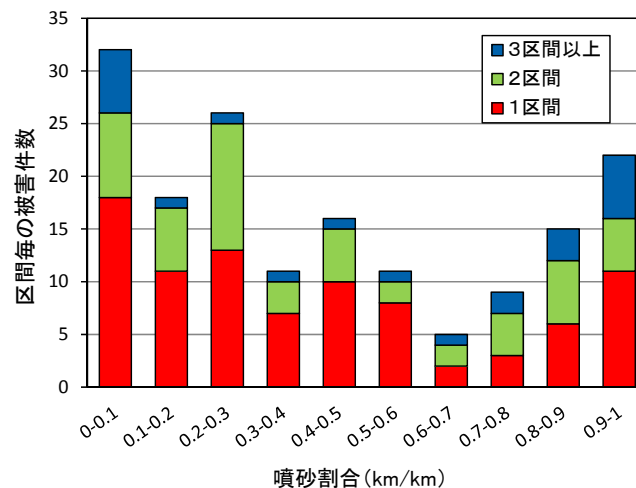


図8 人孔区間における噴砂の割合

5. まとめ

本研究では、鹿島地域の液状化による管路被害集中地域の噴砂範囲を航空写真より特定し、噴砂範囲上の上下水道の管路とその被害位置との空間的関係を明らかにした。本研究は、以下の通りにまとめられる。

- 液状化噴砂範囲上における水道管路の管路被害率は10件/km以上になり、鹿島地域の管路被害が集中する町丁目の管路被害率よりも約10倍高くなることが分かった。
- 噴砂範囲内の水道管路被害件数は管路被害集中地域の被害件数の50～84%を占めており、半数以上が液状化による噴砂、亀裂の範囲内にあったことが明らかになった。
- 噴砂範囲の下水道管路は人孔区間単位で33%以上の比率で被害が発生していた。さらに、管路被害集中地域の下水道管路被害延長の40～77%（人孔区間単位で）が噴砂範囲での被害であった。
- 深芝地域では、水道管路長ベースで噴砂の約73%が採掘跡地で発生したものであり、採掘跡地内の噴砂範囲での管路被害率は水道管路で7.18（件/km）、下水道管路で52%と高い値を示した。
- 液状化の噴砂地域にある水道管路の被害箇所隣接する下水道にも被害がある率は平均して70%以上が相当することがわかった。一方で、噴砂地域にない水道管路の被害箇所でも隣接する下水管路に被害が平均して約60%発生しているが、噴砂地域のほうがその相関が高くなる。
- 噴砂範囲上の管路長が10m以下であれば噴砂範囲の中央で水道管路の被害が多く、管路長が長くなるにつれて、水道管路の被害箇所は噴砂境界に多くみられることがわかった。
- 全被害人孔区間165件の内、人孔周りで噴砂が確認できたものは104件（63%）であり、それ以外の37%は管路上の噴砂であった。

謝 辞

本研究にあたり、茨城県神栖市・鹿嶋市から水道管路、下水道管路の地震被害資料を提供していただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書、2013年。
- 2) 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年。
- 3) 濱田政則、秋岡義史：側方流動による地盤ひずみと埋設管路の被害、地震工学研究発表会講演論文集、Vol.24、1997年、pp.1353-1356。
- 4) Hamada, M., Yasuda, S., Isoya, R. and Emoto, K.: *Study on liquefaction induced permanent ground displacements*, Association for the Development of Earthquake Prediction, 1986.
- 5) 戸井田亮祐、山崎文雄：航空写真を用いた東日本大震災の浦安市における液状化被害分析、地域安全学会論文集 No18、2012年、pp.221-228。
- 6) 鋤田泰子、池尻大介：鹿島地域の液状化による管路被害集中地域と地形変遷、日本地震工学会論文集・東日本大震災特集号第12巻、第4号（特集号）、2012年、pp.249-262。
- 7) 築地拓哉、寺嶋黎、庄司学、永田茂：2011年東北地方太平洋沖地震において被災した上水道配水管網の被害の傾向-茨城県潮来市および神栖市の事例分析-、土木学会論文集A1（構造・地震工学）Vol.69、No.4、2013年、p.I_260-I_279。
- 8) 庄司学、寺嶋黎、永田茂：下水道埋設管路の地震被害率曲線の構築、土木学会論文集A1（構造・地震工学）Vol.70、No.4、2014年、p.I_921-I_946。
- 9) 橋本隆雄、安田進、庄司学：東日本大震災による神栖市深芝・平泉地区の採掘跡地における液状化被害の分析、土木学会論文集A1（構造・地震工学）Vol.71、No.4、2015年、p.I_376-I_386。
- 10) 国際航業株式会社：航空写真簡易オルソデータ、2011年。
- 11) 那波悟志、築地拓哉、庄司学、永田茂：2011年東北地方太平洋沖地震における上水道および下水道の被害分析-茨城県および千葉県の情報得られた被災都市の傾向-、土木学会論文集A1（構造・地震工学）Vol.68、No.4、2012年、p.I_1194-I_1209。

（受理：2015年3月24日）
（掲載決定：2015年10月27日）

Spatial Relationship of Buried-pipeline Damage and Sand-boiling Area due to Liquefaction in Kashima Region

KATO Soji ¹⁾ and KUWATA Yasuko ²⁾

1) Graduate Student, Kobe University

2) Member, Associate Professor, Kobe University, Dr. of Eng.

ABSTRACT

The Pacific coast of the Tohoku earthquake that occurred on March 11, 2011 and its aftershocks caused liquefaction in the large area in the mouth of the Tone river. This study attempts to make clear the spatial relationship between buried-pipeline damage and sand-boiling for the liquefaction-induced damage concentration areas in the Kashima region. After specifying sand-boiling area from the aerial photographs, the database of water and sewer pipelines covered with liquefaction sand-boiling are developed in the Geographical Information System. As the result, the pipeline damage ratio in the sand-boiling area became 10 times as high as that in liquefaction-induced damage concentration area. The water-pipeline damage much occurs as the pipe length in the sand-boiling area increases. The location of pipeline damage moves from the center to boundary of sand-boiling according to the pipe length in the sand-boiling area.

Keywords: Kashima region, sand boiling, pipeline damage, spatial relationship