

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のでられた 被災都市の傾向—

那波 悟志¹・築地 拓哉²・庄司 学³・永田 茂⁴

¹筑波大学大学院システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:s1021001@u.tsukuba.ac.jp

²筑波大学理工学群工学システム学類 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:e0811228@edu.esys.tsukuba.ac.jp

³筑波大学大学院システム情報工学研究科准教授 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

⁴鹿島建設(株)技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail:nagata-shigeru@kajima.com

2011年東北地方太平洋沖地震における茨城県および千葉県内の上水道および下水道の被害について、被災した各自治体へのヒアリングやweb上の情報検索を通じた調査を行った。その上で、情報の得られた自治体に対して上水道および下水道の管路や人孔の被害率を被害箇所数と被害延長の観点から2通りに定義して算出し、それらと計測震度の空間分布の関係を分析した。また、復旧日数についても同様の分析を行った。その上で、既往の大規模地震における被害に基づいて構築された下水道の管路の地震被害率曲線と本調査結果を比較することで、それらの曲線に対するデータの適合度を検証するとともに、本調査で対象とした被災都市における上水道および下水道の被害の特徴を考察した。

Key Words : *The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, water supply system, sewerage system, fragility curve, damage ratio*

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により、水処理系ライフラインである上水道および下水道システムにおいて甚大な被害が発生し、社会経済活動に大きな影響をもたらした。具体的には、上水道に関しては、最大187市町村(3月15日時点)において最大約216万戸(4月1日時点の断水戸数と復旧戸数の和)、主に茨城県においては最大473,765戸、宮城県においては最大616,480戸、千葉県においては最大331,125戸の大規模な断水が発生し(図-1, 文献1)をもとに著者らが作成)、同様に下水道に関しては、9月26日時点の情報より、処理施設120箇所、ポンプ施設112箇所、管渠1,061kmおよびマンホール20,730箇所において被害が発生した(図-2, 文献2)をもとに著者らが作成)。それらの

要因としては、津波による甚大な被害に加え、地震動および液状化により、多様な損傷モードの被害が発生したためである。これらの被害データを集計し、統計的に分析することは、将来の発生が予測されている東南海・南海等の巨大海溝型地震や首都直下などの大規模地震に対して、被害想定とその事前対策の立案の観点から極めて重要である。本研究では、東北地方太平洋沖地震において、上水道および下水道の被害が顕著であった茨城県および千葉県を取り上げ、両県の市町村の中でそれらの被害情報が公開されている市を選択し、上水道および下水道の被害状況を調査した。その上で、既往研究により提示されている下水道の管路の地震被害率曲線との整合性の検討を行った。

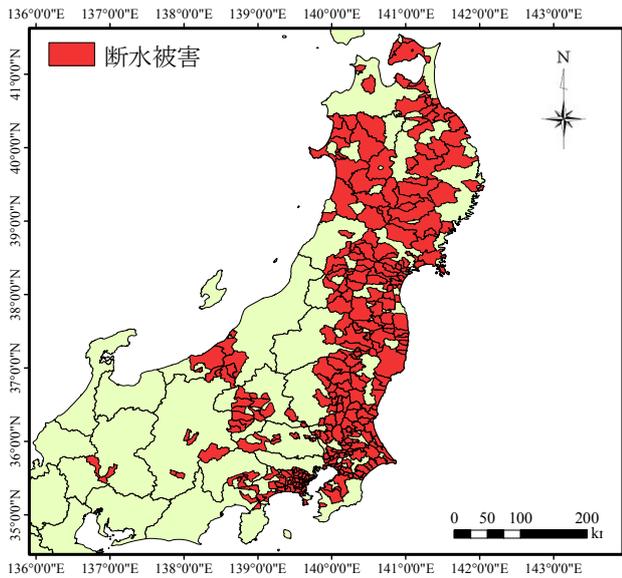


図-1 断水被害の生じた市町村 (文献1)に基づき著者が作成

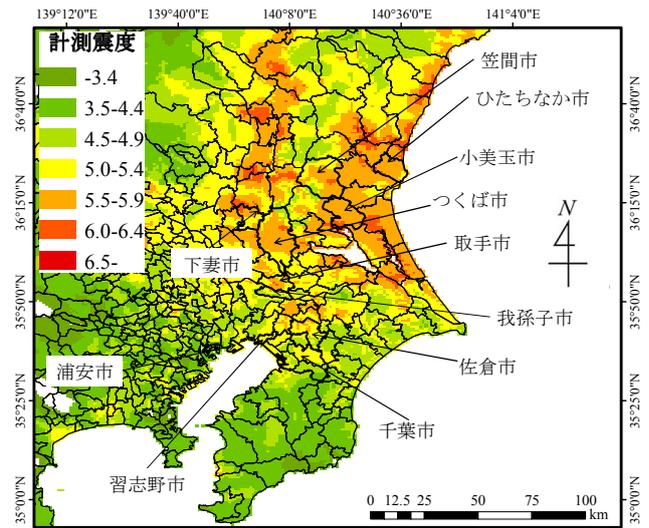
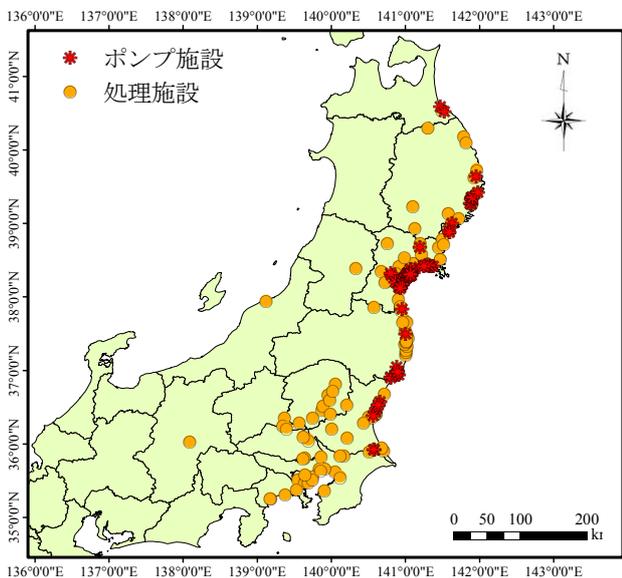
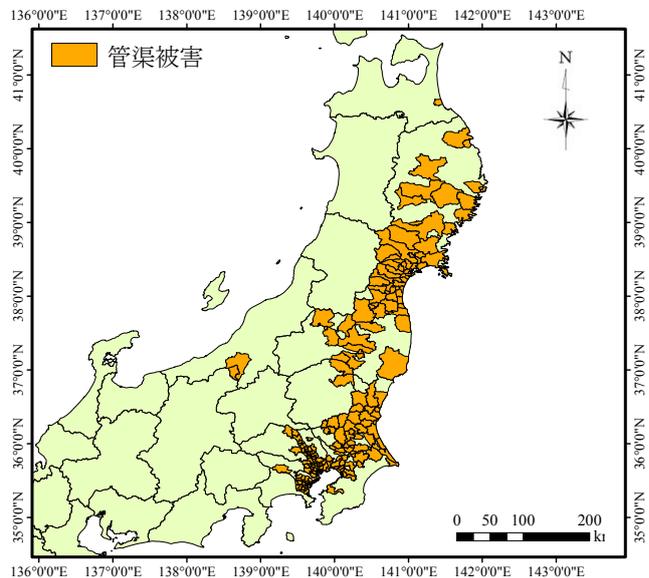


図-3 分析対象とする市および計測震度分布



(a) ポンプ施設, 処理施設



(b) 管渠

図-2 下水道被害の生じた箇所及び市町村

2. 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

(1) 被害の概要および分析方法

図-3には、本研究で分析対象とする茨城県および千葉県内の市を示す。上水道に関しては、千葉県の我孫子市, 佐倉市, 千葉市, 習志野市, 茨城県の小美玉市, 笠間市, 下妻市, つくば市, ひたちなか市の合計9市を対象とし、下水道に関しては、千葉県の我孫子市, 浦安市, 佐倉市, 千葉市, 茨城県の下妻市, つくば市, 取手市, ひたちなか市の合計8市を対象とした。これらの市の上水道および下水道の被害情報を各市へのヒアリング, 現地調査およびweb調査により収集した。ヒアリングおよび現地調査を実施した市は、茨城県の取手市 (5月31日), ひたちなか市 (6月1日および6月29日), 潮来市 (6

月28日および9月26日), 神栖市 (6月28日および9月26日) および千葉県の我孫子市 (5月31日), 千葉市 (6月3日および9月2日), 浦安市 (6月3日), 香取市 (6月28日) の8市である (括弧内は現地調査実施日)。web調査に関しては、厚生労働省HP³⁾, 茨城県および千葉県の各市町村のHP^{4)~14)}, 千葉県水道局HP¹⁵⁾および茨城県の水道統計資料¹⁶⁾を参照し、上水道および下水道施設の被害箇所数 N_p , 被害延長 $L_a(\text{km})$, 敷設延長 $L(\text{km})$ および復旧日の情報を収集した。その際、上水道および下水道の被害箇所数 N_p に関しては、上水道においては配水管, 給水管等の管の種別が明らかな場合は区別し, それらが不明な場合は全体の被害箇所数を用いた。下水道については、管路と人孔あるいは汚水管と雨水管の区別が判断できる場合はそれらを区別して扱った。

以上の方針に基づき、ヒアリング, 現地調査およ

表-1 分析対象とする市の上水道および下水道の被害と復旧日

	市町村	被害箇所数 N_p とその被害形態	敷設延長 L (km)	被害延長 L_d (km)	被害箇所に関する被害率 $R_N(N_p/L)$	被害延長に関する被害率 $R_L(L_d/L)$	復旧日	計測震度			
								最小値 IJ^{min}	中央値 IJ^m	最大値 IJ^{max}	
上水道	千葉県	我孫子市	16 内訳、配水管15箇所 給水管1箇所	524	不明	0.031* ¹	-	3月16日	4.6	5.0	5.5
		佐倉市	32 内、空気弁からの 漏水22箇所	757	不明	0.042* ¹	-	3月15日	4.7	5.1	5.7
		千葉市	56 全て管路破損	354	不明	0.158* ¹	-	3月17日	4.0	5.0	5.4
		習志野市	21 全て管路破損	304	不明	0.069* ¹	-	3月21日	4.8	5.2	5.4
	茨城県	小美玉市	63 全て漏水箇所	471	不明	0.134* ¹	-	3月13日	5.6	5.8	6.4
		笠間市	約124 管渠等の破損による 漏水箇所	796	不明	0.156* ²	-	3月21日	4.8	5.4	6.1
		下妻市	6 全て本管の漏水箇所	370	不明	0.016* ¹	-	3月19日	5.2	5.6	6.4
		つくば市	106 全て漏水等	1149	不明	0.092* ¹	-	3月16日	4.7	5.5	6.0
		ひたちなか市	28 全て配水管の漏水箇所	826 内、配水管809	不明	0.034* ³	-	3月25日	5.4	5.7	6.1
		下水道	千葉県	我孫子市	13 人孔の隆起陥没	350	≈7.2	0.037* ⁴	0.021	5月10日 管路 仮復旧	4.6
浦安市	310 全て人孔の被害			≈290	≈24	1.070* ⁴	0.083	4月15日	4.7	5.1	5.2
佐倉市	7 全て人孔周りの 隆起陥没等			684	≈0.4	0.010* ⁵	-	不明	4.7	5.1	5.7
千葉市	不明			3606	≈8	-	0.002	不明	4.0	5.0	5.4
茨城県	下妻市		21 全て管路破損	93	0.371	0.225* ⁶	-	不明	5.2	5.6	6.4
	つくば市		106 下水道施設の破損	1182	1.493	0.090* ⁷	-	不明	4.7	5.5	6.0
	取手市		84 汚水管の被害に 対する通報数	≈400	≈0.45	0.210* ⁸	0.001	不明	4.9	5.3	6.0
	ひたちなか市		8 高場雨水1号幹線外8箇所	≈500	≈9.7	0.016* ⁹	0.019	不明	5.4	5.7	6.1

*1: R_N の算定に当たって給水管、配水管等の管の種別を考慮しない場合

*2:被害箇所数 N_p が概数の場合

*3: R_N の算定に当たって配水管のみのデータを用いる場合

*4:人孔の被害データを用いる場合

*5:人孔の被害のほかには管渠被害などが含まれている場合

*6:管路被害のみのデータを用いる場合

*7:管路及び下水道関連施設の全ての被害箇所数 N_p

*8:住民からの通報から汚水管の管路被害と認定された被害箇所数 N_p

*9:都市排水の施設の内、高場雨水1号幹線を除いた被害箇所数

びweb調査の対象とした市における被害箇所数 N_p とその被害形態、敷設延長 L (km)、被害延長 L_d (km)、被害箇所数 N_p および被害延長 L_d に関する被害率 R_N 、 R_L 、復旧日、計測震度の最小値 IJ^{min} 、中央値 IJ^m 、最大値 IJ^{max} をまとめると表-1のようになる。

被害率を算出する際には、被害箇所数 N_p に関する被害率 R_N と、被害延長 L_d に関する被害率 R_L の2つを定義した。 R_N は敷設されている管の被害箇所数 N_p を敷設延長 L で除し、次式のように定義する。

$$R_N = \frac{N_p}{L} \quad (1)$$

また、 R_L は被害延長 L_d を敷設延長 L で除し、次式のように定義する。

$$R_L = \frac{L_d}{L} \quad (2)$$

なお、 R_L については、被害延長 L_d の得られた下水道についてのみ算出した。表-1に示す R_N の算出に当たっては、市により被害に関する情報提示が質的に異なるため、9つの区分で精査した。上水道の被害箇所数 N_p に関しては、給水管、配水管等の被害が生じた管の種別の情報が得られた場合にはそれらを区別して R_N を計算した。管の種別が明らかでなく、全体の被害箇所数もしくは漏水箇所数が明らかな場合にはそれらを用いて算出した。管路の亀裂やたるみなどの損傷モードに関する情報は全ての市において得られなかったため、 R_N の算出において損傷モードは考慮していない。

次に、被害と地震動の関係を分析する際には、地震動強さの指標として計測震度を用いる。その際には、気象庁により公開されているデータに基づいた3次メッシュの計測震度分布¹⁷⁾を用いた(図-3)。分析対象とする市の計測震度は、各市に重なる3次メッシュの中で、最小値、中央値および最大値を算

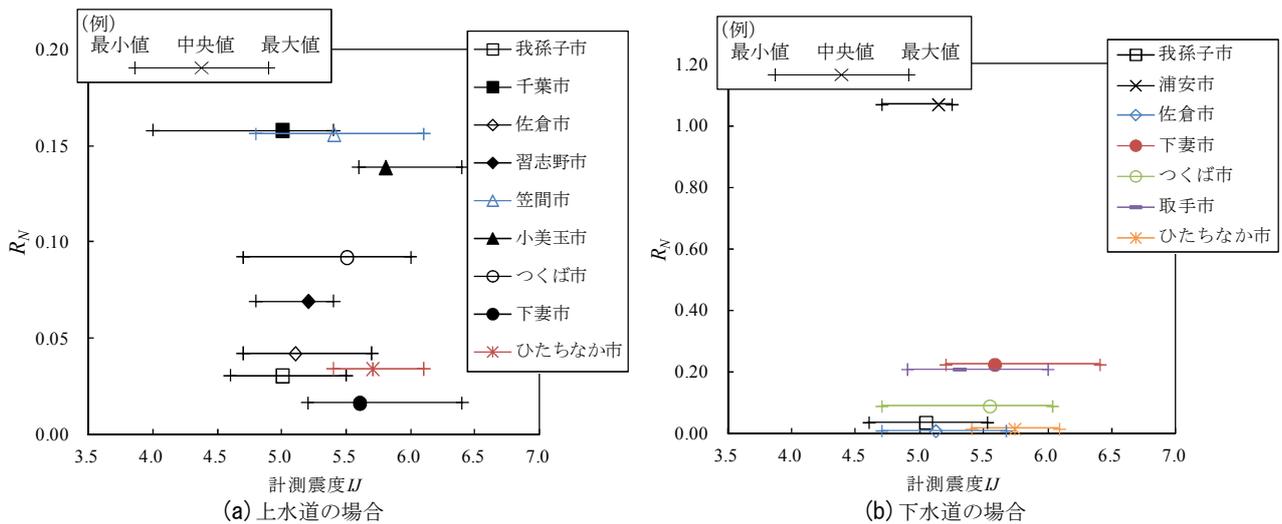


図-4 上水道および下水道における被害箇所数 N_p に関する被害率 R_N と計測震度の関係（図中のマーカー及び線の色は表-1の注釈番号と対応しており、(a)の黒は*1, 青は*2, 赤は*3に対応する。(b)の黒は*4, 青は*5, 赤は*6, 緑は*7, 紫は*8, 及び橙は*9に対応する。）

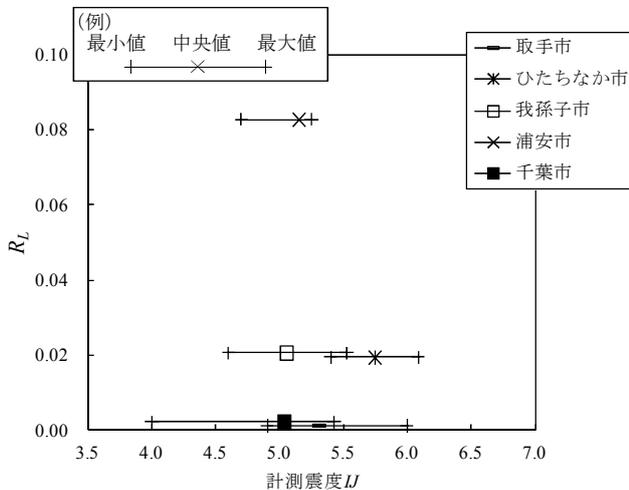


図-5 下水道における被害延長 L_d に関する被害率 R_L と計測震度の関係

出して用いた。

(2) 被害箇所および被害延長に対する分析

図-4および図-5には、上水道および下水道の被害箇所数 N_p および被害延長 L_d に関する被害率 R_N 、 R_L と計測震度の関係を示す。

上水道の R_N に関しては、 R_N の相対的な大小関係により3つの領域に分類できる。相対的に R_N が大きい市は千葉市、笠間市および小美玉市であり、それらの R_N は0.134から0.158の領域となり、対応する計測震度の中央値 I^m は5.0から5.8となっている。相対的に R_N が中程度の市はつくば市および習志野市であり、それらの R_N は0.092と0.069を示し、対応する I^m はそれぞれ5.5と5.2となっている。相対的に R_N が小さい市は佐倉市、ひたちなか市、我孫子市、下妻市であり、それらの R_N は0.016から0.042の領域となり、対応する I^m は5.0から5.7となっている。 R_N が相対的に高い上記の3市に関しては、小美玉市では計測震度が6弱を示しており、強い地震動に晒されたとい

える。一方、笠間市、千葉市は小美玉市と比べると、計測震度が5強と相対的に低いにも関わらず、大きな被害率を示している。

下水道の R_N に関しては、上水道の R_N と同様に、 R_N の相対的な大小関係により3つの領域に分類することができる。相対的に R_N が大きい市は浦安市であり、その R_N は1.070となる。対応する I^m は5.1となる。相対的に R_N が中程度の市は下妻市および取手市であり、それらの R_N は0.225と0.210の領域となる。対応する I^m はそれぞれ5.6と5.3となっている。相対的に R_N が小さい市はつくば市、我孫子市、ひたちなか市、佐倉市であり、それらの R_N は0.010から0.090の領域となり、対応する I^m は5.0から5.7となっている。 R_N が相対的に高い浦安市に関しては、計測震度が5強と地震動が相対的に低いにも関わらず、大きな被害率を示している。これは、浦安市においては、他の市と比べて液状化の被害が甚大であったためであると推察される。

また、下水道に関しては、 R_N に加え、 R_L に対する分析も行っており、 R_L の相対的な大小関係で3つの領域に分類することができる。 R_N と同様に相対的に R_L が大きい浦安市においては0.083を示している。 R_L が中程度の市は我孫子市およびひたちなか市であり、それらの R_N は0.021と0.019を示している。これらの2市については、 R_L は相対的に大きいにも関わらず、 R_N は相対的に小さくなっている。我孫子市に関しては液状化によって発生した地盤全体の傾斜による管路への砂詰まりが生じ、それが被害延長 L_d に含まれることによって、 R_L が R_N よりも相対的に大きくなったと推察される。ひたちなか市に関しては被害延長 L_d に敷設されている管路の埋め戻し土の沈下による道路被害まで含まれており、それによって R_L が R_N よりも相対的に大きくなったことが推察される。一方で、相対的に R_L が小さい市は千葉市および取手市であり、それらの R_L は0.002および0.001となる。取手市については、 R_N は中程度の数値を示している

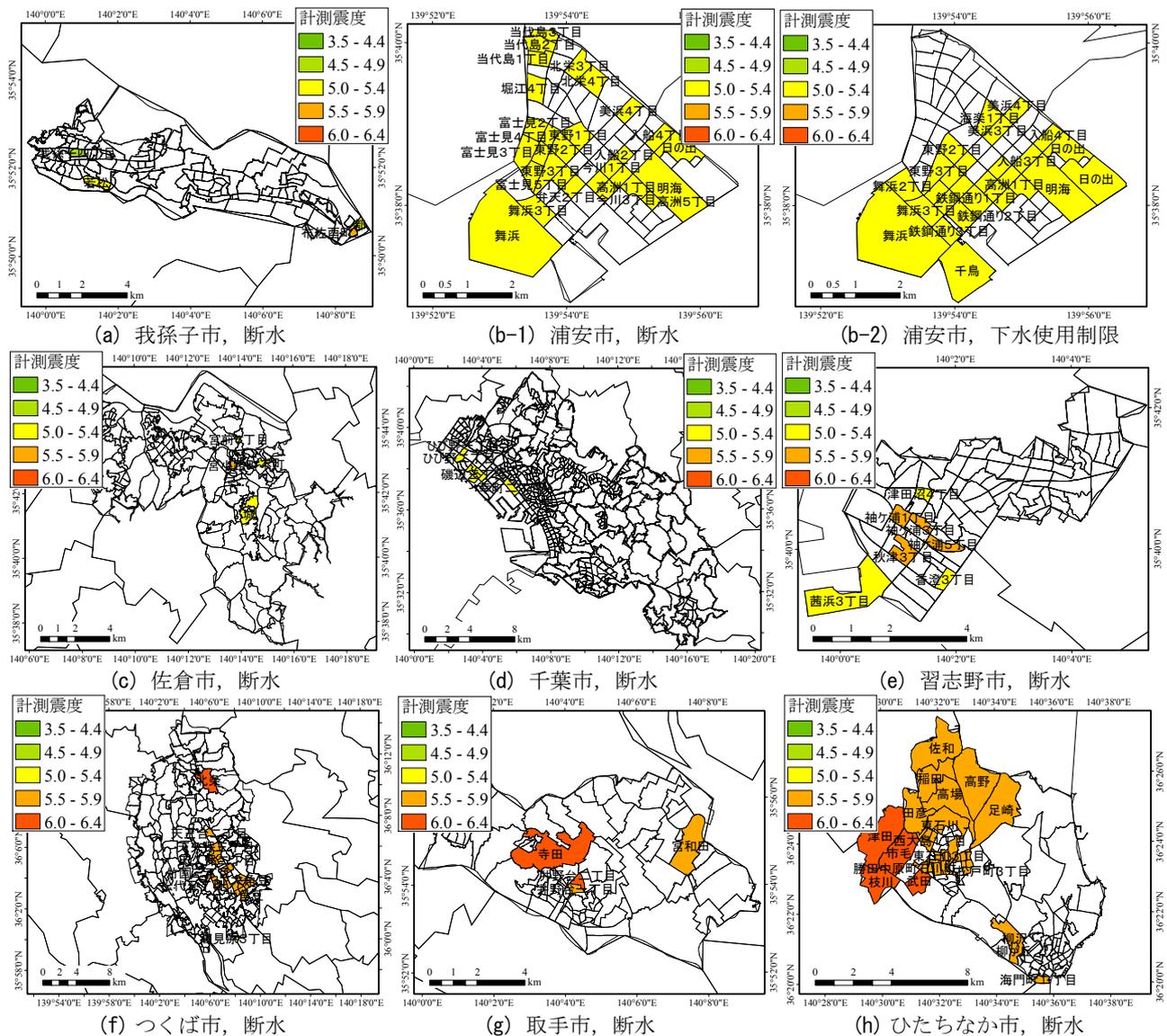
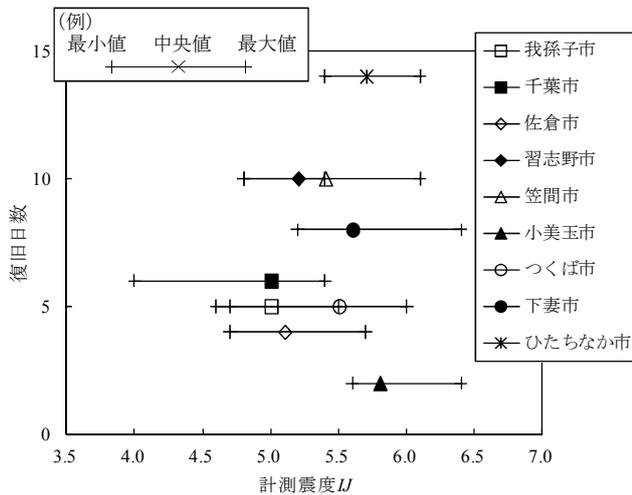


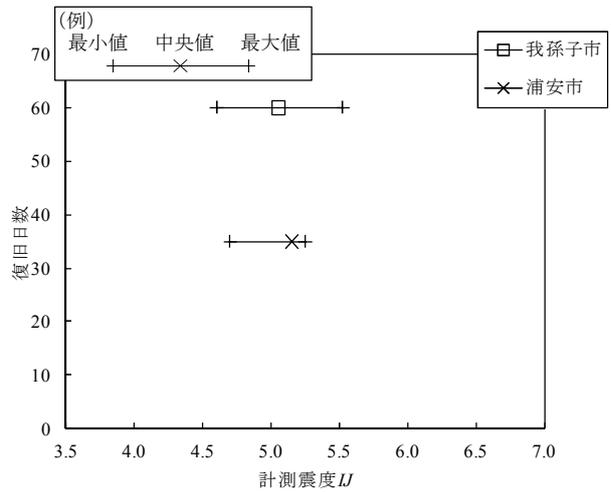
図-6 断水および下水道使用制限の空間分布と当該地域における計測震度

表-2 断水および下水道使用制限の発生した町丁目の詳細

市	断水の発生した町丁目	下水道使用制限の発生した町丁目
我孫子市	布佐西町, 都, 我孫子四丁目, 若松	なし
浦安市	高洲一丁目および五丁目, 今川一丁目～四丁目, 東野一丁目～三丁目, 当代島一丁目～三丁目, 日の出, 入船二丁目および四丁目, 美浜四丁目, 富士見一丁目～五丁目, 舞浜, 舞浜三丁目, 弁天一丁目および二丁目, 北栄三丁目および四丁目, 堀江四丁目, 明海	海楽一丁目, 高洲一丁目および二丁目, 今川一丁目～四丁目, 千鳥, 鉄鋼通り一丁目～三丁目, 東野二丁目および三丁目, 日の出, 入船三丁目および四丁目, 美浜三丁目および四丁目, 富岡四丁目, 舞浜, 舞浜二丁目および三丁目, 弁天一丁目～四丁目, 明海
佐倉市	宮小路町, 宮前一丁目, 城, 本町	なし
千葉市	ひび野一丁目および二丁目, 磯辺一丁目および三丁目～七丁目, 幸町二丁目	なし
習志野市	茜浜三丁目, 香澄三丁目, 秋津三丁目, 袖ヶ浦一丁目および三丁目および五丁目, 津田沼四丁目	不明
つくば市	吾妻三丁目, 高見原三丁目, 春日一丁目～四丁目, 松代一丁目～五丁目, 大角豆, 竹園一丁目～三丁目, 天王台二丁目, 天久保一丁目～四丁目, 東一丁目および二丁目, 東光台一丁目, 二の宮一丁目から四丁目, 梅園一丁目および二丁目, 並木一丁目～四丁目, 北条	なし
取手市	井野台一丁目および二丁目, 宮和田, 寺田	なし
ひたちなか市	稲田, 海門町一丁目および二丁目, 高場, 高野, 佐和, 笹野町一丁目～三丁目, 市毛, 枝川, 藤田泉町, 藤田中央町, 藤田中原町, 藤田本町, 松戸町一丁目～三丁目, 西大島一丁目～三丁目, 石川町, 足崎, 津田, 田彦, 東石川, 東石川一丁目～三丁目, 武田, 柳	なし



(a) 上水道の場合



(b) 下水道の場合

図-7 上水道及び下水道における復旧日数と計測震度の関係

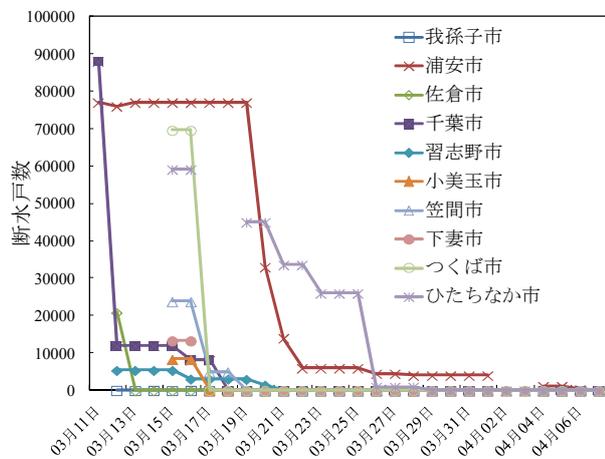


図-8 断水の復旧曲線

が R_L は相対的に最も小さい数値となっている。これは、取手市のデータが市民からの通報件数であり、災害査定に向けて整理される前の情報であるため、他の市と比べ被害箇所数 N_p が大きくなっていることに起因していると考えられる。

(3) 被害の空間的な分布の詳細

図-6には、図-4および図-5に示した上水道および下水道の被害が発生した市の町丁目単位の被害領域と、当該領域に重なる3次メッシュの計測震度の最大値を色付けして示す。図-6の作成においては、twitter¹⁸⁾上の検索機能を利用し、各市の公式情報もしくは住民情報に基づき断水および下水道使用制限の発生した町丁目単位の領域と復旧日を同定した。その上で、当該市に対するヒアリングを通じ、情報に修正を加えた。なお、図-6は、断水については3月11日の地震発生直後の状況を示し、下水道使用制限については当該市が地震発生後に被害状況把握を踏まえた上で発令した際の状況を示す。また、小美玉市、笠間市および下妻市については、町丁目単位の詳細な情報が得られなかったため図を省略している。表-2には、断水および下水道使用制限の発生した町丁目の詳細を示す。

図-6より、我孫子市、浦安市、佐倉市、千葉市、習志野市においては、相対的に小さい震度5強を示しているにも関わらず、被害が発生している。これは、これらの地域において、液状化による被害が相対的に卓越したためであると推察される。一方、つくば市、取手市、ひたちなか市においては、相対的に大きい震度6弱もしくは6強の地震動に晒されており、そのために、液状化に加え、強震動による被害が顕著になったと推察される。

(4) 復旧日数に対する分析

図-7には、表-1に基づき、上水道および下水道の復旧日数と計測震度の関係を示す。また、図-8には、分析対象とする市の上水道の復旧曲線を示す。図-8を作成するにあたっては、茨城県に関しては厚生労働省HP³⁾、千葉県に関しては千葉県水道局HP¹⁵⁾及び千葉県HP¹⁹⁾を参照した。その際、1日に2回以上の情報が公開されている場合は、その日の最後の情報を用いた。

図-7より、上水道の復旧日数に関しては、ひたちなか市、習志野市および笠間市、下妻市、千葉市、我孫子市、つくば市、佐倉市、および小美玉市の順で長くなっている。ひたちなか市は、上述の R_N に関しては相対的に小さい数値を示していたが、復旧日数に関しては最も長くなっている。次に、習志野市および笠間市は、 R_N に関しては相対的に中程度から大きい数値を示しており、それ相応の復旧日数となっている。一方、下妻市は、 R_N に関しては最も小さい数値を示しているにも関わらず、復旧日数は8日間となっている。千葉市は R_N に関しては最も大きい数値を示しているが、復旧日数に関しては中程度となっており上水道の復旧の効率が良かったことが示唆される。我孫子市および佐倉市は R_N に関しては相対的に低い値を示しており、復旧日数はともに低い値となっているため、それ相応の復旧日数となっている。

つくば市と小美玉市は相対的に中程度および大き

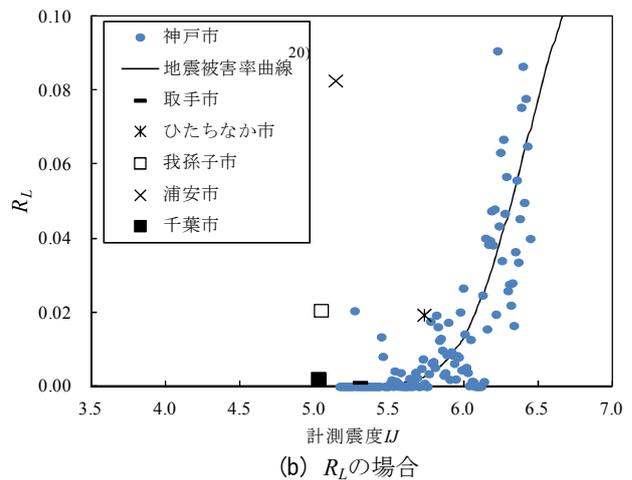
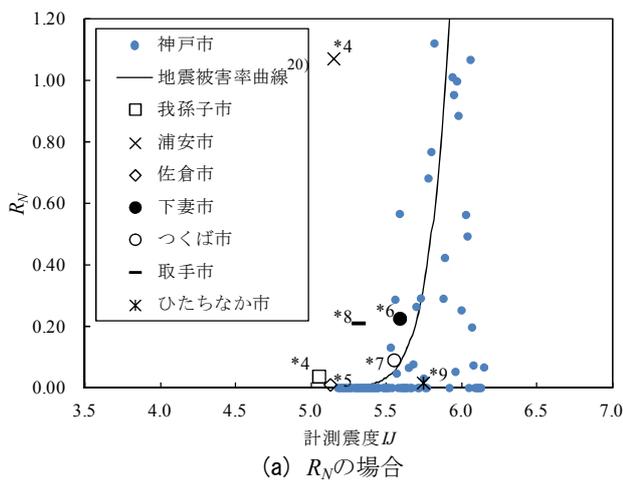


図-9 下水道における管路の被害率と既往の地震被害率曲線の比較（図中のプロットに付与されている注釈番号は表-1の注釈番号に対応している）

い数値を示しているが、復旧日数に関してはともに低い数値となっている。

下水道の復旧日数に関しては、我孫子市、浦安市の順に、いずれも一か月以上と極めて長くなっている。これらの2市は、上述の R_N において最大もしくはそれに準ずる値を示しているため、被害の程度に応じて復旧日数が長くなっている。これは、液状化現象により下水道施設が甚大な被害を受けたためと考えられる。

3. 既往の地震被害との比較

図-9には、下水道における R_N 、 R_L と既往の下水道の管路に関する地震被害率曲線との比較を示す。その際、計測震度としては、市ごとの中央値 I_m を用いた。なお、 R_N の場合は、我孫子市および浦安市については人孔の被害率、佐倉市については管路および人孔の被害率、下妻市については管路の被害率、つくば市については管路および下水道関連施設の被害率、取手市については污水管の管路の被害率、ひたちなか市については都市排水の施設の被害率をそれぞれ示したものとなっている。既往の被害率曲線としては、庄司ら²⁰⁾による地震被害率曲線をそれぞれ用いた。

図-9(a)より、 R_N の場合は、ひたちなか市以外のすべての市において、被害率曲線により推定される値を上回った。一方、被害率曲線の算出に用いた1995年兵庫県南部地震における神戸市の下水道管路の実被害率と比較すると、被害率の数値が現れ始める計測震度5.5以上においては、つくば市、下妻市、ひたちなか市における被害率と同程度の値を示している。また、被害率が0.1を越える点を被害率曲線の立ち上がりとする、ひたちなか市以外の全ての市で被害率曲線の立ち上がる前に実被害が発生している。また、図-9(b)より、 R_L の場合は、すべての市において、被害率曲線により推定される数値を上回った。また、被害率が0.001を越える点を被害率

曲線の立ち上がりとする、ひたちなか市以外の全ての市で被害率曲線の立ち上がる前に実被害が発生している。また、 R_N と同様の傾向を示し、相対的に、液状化により多くの被害が発生した浦安市、我孫子市および取手市においては、地震被害率曲線に立ち上がる適合度が低い。これらは、計測震度が5.0から5.5の領域では、既往の地震に対しては被害率が0となっており、このような被害率の立ち上がりの領域の精度の向上が今後の課題である。

4. 結論

本研究では、東北地方太平洋沖地震において、上水道および下水道の被害が顕著であった茨城県および千葉県を取り上げ、両県の市町村の中でそれらの被害情報が公開されている市を選択し、上水道および下水道の被害状況を調査した。得られた知見は、以下のとおりである。

- (1) 上水道における被害箇所数 N_p を敷設延長 L で除した被害箇所数に関する被害率 R_N は、その相対的な大小関係により3つの領域に分類できる。 R_N が相対的に大きい市は千葉市、笠間市および小美玉市、中程度の市はつくば市および習志野市、小さい市は佐倉市、ひたちなか市、我孫子市および下妻市であり、それぞれの領域における R_N の数値は、0.134から0.158、0.069から0.092、0.016から0.042となっている。これらの中で、小美玉市においては震度6弱という相対的に強い地震動に晒されたために大きな被害が発生したといえる。一方で、千葉市および笠間市においては、震度5強という相対的に弱い地震動にも関わらず、大きな被害が発生していた。
- (2) 下水道における R_N は、上水道の場合と同様に、その相対的な大小関係により3つの領域に分類できる。 R_N が大きい市は浦安市、中程度の市は下妻市および取手市、小さい市はつくば市、我孫子市、ひたちなか市、佐倉市であり、それぞれ

の領域における R_N の数値は、1.070、0.210から0.225、0.010から0.090となっている。これらの中で、浦安市においては、震度5強という相対的に弱い地震動にも関わらず、大きな被害が発生していた。同様に、下水道における被害延長 L_d を敷設延長 L で除した被害延長に関する被害率 R_L は、その相対的な大小関係により3つの領域に分類できる。 R_L が大きい市は浦安市、中程度の市は我孫子市およびひたちなか市、小さい市は千葉市および取手市であり、それぞれの領域における R_L の数値は、0.083、0.019から0.021、0.001から0.002となっている。

- (3) 上水道および下水道において断水もしくは下水使用制限の被害が発生した町丁目と計測震度の関係より、我孫子市、浦安市、佐倉市、千葉市および習志野市では、震度5強という相対的に弱い地震動にも関わらず被害が発生していた。これらの市においては、液状化により被害が多く発生したものと推察される。一方で、つくば市、取手市およびひたちなか市では、震度6弱から6強という相対的に強い地震動で被害が発生していた。これらの市においては、液状化による被害とともに、強震動による被害が発生したものと推察される。
- (4) 上水道における復旧日数と上述の被害率 R_N の関係については、小さい被害率に対してそれ相当に復旧日数の短かった市は、我孫子市および佐倉市である。小さい被害率にも関わらず復旧日数を要した市は、ひたちなか市および下妻市である。中程度もしくは大きい被害率にも関わらず復旧日数の短かった市は、つくば市および小美玉市である。中程度もしくは大きい被害率に対し、それ相当に復旧日数を要した市は、習志野市、笠間市および千葉市である。一方、下水道における復旧日数と上述の被害率 R_N の関係については、我孫子市および浦安市において、大きな被害率に対して1カ月以上というそれ相当の復旧日数を要した。
- (5) 下水道において、既往の地震被害率曲線と被害率 R_N および R_L を比較した結果、 R_N の場合のひたちなか市を除き、すべての市において、被害率は地震被害率曲線により推定される数値を上回る結果を示した。その中でも特に、浦安市および我孫子市については、液状化による被害が顕著であったために、地震被害率曲線により推定される数値と乖離していた。

謝辞：本研究は、国土交通省・建設技術開発助成（平成21年度から平成22年度）「下水道システムの地震被害応急復旧戦略シミュレータの開発」（研究代表者：永田茂博士，鹿島建設（株）技術研究所）の一部助成を得て実施されたものです。また、筑波大学東日本大震災復興支援プログラム（研究代表者：金久保利之准教授，研究分担者：庄司学），及び、筑波大学プロジェクト「巨大地震による複合災

害の統合的リスクマネジメント」（研究代表者：八木勇治准教授，研究分担者：庄司学）の一部助成を得て実施されました。これらに関連する全ての皆様方に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 厚生労働省：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の被害状況及び対応について（第11報），
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000014i5k-img/2r98520000014i90.pdf>
- 2) 国土交通省：第2回下水道地震・津波対策技術検討委員会資料，
http://www.mlit.go.jp/crd/crd_sewerage_tk_000166.html
- 3) 厚生労働省：東日本大震災関連情報 | 緊急情報 | 構成労働省，
http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/
- 4) 我孫子市：東北地方太平洋沖地震災害対策本部 総括報告書，
<http://www.city.abiko.chiba.jp/index.cfm/18,73887,c.html/73887/20110830-083604.pdf>
- 5) 千葉市：千葉市公式サイト，
<http://www.city.chiba.jp/>
- 6) 佐倉市：佐倉市東日本大震災関連情報まとめページ，
<http://www.city.sakura.lg.jp/jishin/>
- 7) 習志野市：震災に係るライフラインへの影響(上・下水道、がれき処理等)，
http://www.city.narashino.chiba.jp/jisin_00/lifeline/index.html
- 8) ひたちなか市：災害等緊急情報/ひたちなか市，
<http://www.city.hitachinaka.ibaraki.jp/SKYU/saigai/higai.html>
- 9) 笠間市：東日本大震災による笠間市の被害状況などについて，
http://www.city.kasama.lg.jp/cgi-bin/upsys/view_hp.cgi?mode=news&mode2=detail&n_no=1585
- 10) 小美玉市：東日本大震災による小美玉市の被害状況について，
<http://city.omitama.lg.jp/files/20110419163327.pdf>
- 11) つくば市：東日本大震災におけるつくば市の被災・復旧状況，
<http://www.city.tsukuba.ibaraki.jp/1330/008544.html>
- 12) 下妻市：東日本大震災に関する下妻市内の被害状況等，
<http://www.city.shimotsuma.lg.jp/living/saigai/pdfs/higai%20230624.pdf>
- 13) 取手市：東日本大震災関連情報，
<http://www.city.toride.ibaraki.jp/index.cfm/8,4366,13,98.html>
- 14) 浦安市：災害復興情報，
<http://www.city.urayasu.chiba.jp/menu9765.html>
- 15) 千葉県：千葉県水道局/千葉県，
<http://www.pref.chiba.lg.jp/suidou/>
- 16) 茨城県保健福祉部生活衛生課水道整備グループ：統計資料，
<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/hoken/seiei/suido/02about/0210.html>
- 17) 気象庁：地震情報，
<http://www.jma.go.jp/jp/quake/>
- 18) Twitter, Inc. : Twitter, <http://twitter.com/>
- 19) 千葉県：東日本大震災について / 千葉県，

<http://www.pref.chiba.lg.jp/bousai/h23tohoku/index.html>

20) Shoji, G., Naba, S. and Nagata, S.: Evaluation of Seismic Vulnerability of Sewerage Pipelines based on Assessment of the damage data in the 1995 Kobe Earthquake, *Applications*

of Statistics and Probability in Civil Engineering, Faber, M. H., Köhler, J. and Nishijima, K. eds., Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-66986-3, pp. 1415-1423, 2011.

DAMAGE ASSESSMENT ON WATER SUPPLY SYSTEM AND SEWERAGE SYSTEM AT THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE - CASE STUDY FOR THE DATA AT IBARAKI AND CHIBA PREFECTURES

Satoshi NABA, Takuya TSUKIJI, Gaku SHOJI and Shigeru NAGATA

We evaluate the dependency of damage and restoration of water supply systems and sewerage system on the seismic hazards in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake focusing on the damage at Ibaraki and Chiba prefectures. We use the damage data of the systems by carrying out field survey, interviews for related local government sectors and surveying the information in web sites. We quantify two damage ratios defined by the ratio of number of physical damage points N_p with the related pipeline lengths L and that of disrupted lengths L_d with L . In addition, we discuss relation between restoration periods with the seismic hazards. Finally, we verify the fitting of the damage data with previous seismic fragility curves on sewerage pipelines.