

関東地方を対象とした上水道管路データの作成

Compiling Water Supply Pipeline Data in Kanto Region for Seismic Risk Analysis

○清水 智¹, 小丸 安史¹, 時実 良典¹, 藤原 広行², 中村 洋光²
 Satoshi SHIMIZU¹, Yasushi KOMARU¹, Yoshinori TOKIZANE¹,
 Hiroyuki FUJIWARA² and Hiromitsu NAKAMURA²

¹ 応用アール・エム・エス株式会社

OYO RMS Corporation

² 国立研究開発法人防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

In this study, we compiled water supply pipeline data of 250 m mesh size in Kanto region as the basic data for assessment of the recovery process after the earthquake. First, we collected business annual reports of water utilities and compiled the database that possesses attributes of pipe type and diameter for each water utilities. Finally, based on the data of road extension and number of households etc. for each mesh, the entity unit data was converted to mesh unit data. Additionally, as a case study using the compiled database, we estimated the damage of the water pipeline in the Kanto region due to Tohoku Earthquake in 2011.

Keywords : water supply pipeline data, Kanto Region, 250m mesh, pipe type, pipe diameter

1. はじめに

地震発生時の電気・水道といったライフラインの寸断は日常生活や社会・経済活動に大きな影響を与えるが、ライフラインの被害推定のためには、地震被害予測に適した属性を保有するとともに、ハザード評価の解像度に対応した曝露データが必要である。本研究では、ライフラインのうち、比較的資料収集が容易と考えられた上水道を対象に、広域的なリスク評価を目的とした、関東地方(1都6県)の4分の1地域メッシュ(以降「250mメッシュ」と称す)単位の管路データを試作した。加えて、作成した管路データのケース・スタディとして、既往の予測手法を利用して2011年東北地方太平洋沖地震による関東地方の水道管路の被害状況について試算を行った。

2. データ作成方法

(1) 属性の検討

地震被害想定における管路被害の予測手法としては、丸山・山崎(2009)¹⁾、東京都(1997)²⁾、日本水道協会(1998)³⁾などの方法が比較的多く用いられている。これらの手法は、1kmあたりの管路被害件数を示す標準被害率を求めた上で、管種・管径・液状化・地形等の影響を示す補正係数を乗じて管路被害率を求める方法である。標準被害率は最大速度の関数として求められる。管種・管

表1 試作データの管種・管径の属性

(管種)		(管径)	
鑄鉄管		75以下	450
ダクタイル	耐震継手	100	500
鑄鉄管	普通継手	125	550
鋼管	溶接継手	150	600
	溶接以外	200	700
石綿セメント管		250	800
硬質塩化	T S継手	300	900
ビニル管	R R継手	350	1000以上
ポリエチレン管		400	
その他・不詳			

径の補正係数には様々な区分があるが、水道技術センター(2013)⁴⁾の管種区分がかなり詳細であることを考慮し、表1に示す管種・管径区分を本研究で作成する管路データの属性区分とした。

(2) データ収集

作成対象とした1都6県の上水道の水道事業者の事業年報や簡易水道統計等の管種・管径別の管路延長に関する公開データを収集した。表2に全国・都県レベルの収集資料とそれぞれのデータが保有する管路延長に関する属性を示した。また、図1には各水道事業者の事業年報も含め最終的に収集できた資料の管路データの属性の分布を示した。その結果、都市部の多くの地域で管種・管径別管路延長データが得られたほか、管種別延長と管径別延長を個別に得られた地域を含めると、関東地方の多くの地域で管種・管径の管路データを得ることができた。

表2 全国・都県レベルの収集資料とデータ属性

	発行主	資料名	対象	単位	総延長	管種別延長	管径別延長	管種・管径別延長
全国	日本水道協会	平成26年度水道統計施設・業務編	全国	都道府県水道事業者	○	○	○	
	水道産業新聞社	全国水道事業者管路データ集	全国	水道事業者	○	○	○	
	厚生労働省医療・生活衛生局生活衛生・食品安全部水道課	平成26年度全国簡易水道統計	全国	水道事業者	○	○		
都県	茨城県保健福祉部生活衛生課	平成26年度茨城県の水道	茨城県	水道事業者	○	○		
	栃木県保健福祉部生活衛生課	栃木の水道平成26年度版	栃木県	水道事業者	○	○		
	埼玉県保健福祉部生活衛生課	埼玉県の水道平成28年度版	埼玉県	水道事業者	○	○		
	千葉県総合企画部水政課	平成27年度千葉県の水道	千葉県	水道事業者	○	○		
	東京都水道局	平成26年度事業年報	都水道局管内	区	○	○	○	△
	東京都	東京都水道年鑑平成26年	都水道局管内	市区	○		△	
	神奈川県保健福祉部生活衛生課	平成25年度神奈川県の水	神奈川県	水道事業者	○	○		
	各水道事業者	各水道事業者事業年報	水道事業者管内	水道事業者	○	△	△	△

※表中の「○」は資料に記載されている属性、「△」は一部の資料に記載されている属性または属性の一部が記載されているもの。

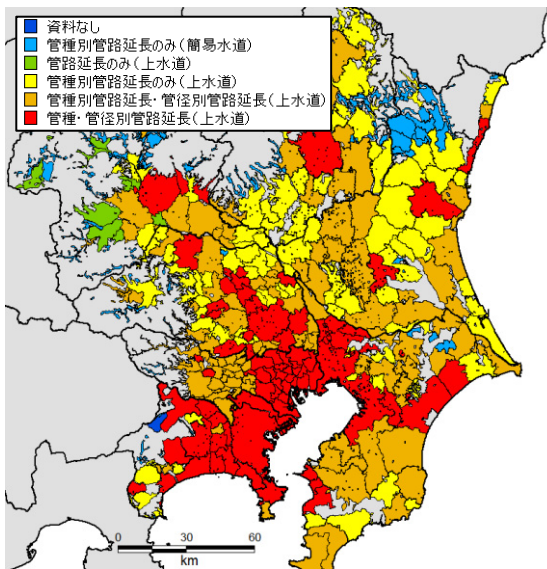


図1 収集資料の管路延長の属性分布

(3) 水道事業体別の管種・管径別管路データ作成

(2)で収集した管路データは地域によって得られたデータの属性は異なる(図1)。そこで収集資料に応じて表2に示した属性を保有する水道事業体単位の管種・管径別管路延長データを作成した。なお、水道事業体内で市区町村等のより詳細な地域単位のデータが設定できる場合は、詳細な地域単位のデータを作成した。上水道の具体的な管種・管径別管路延長データ作成手順は、収集資料の属性に応じて、以下の①～⑤の手順で実施した。なお、収集資料において铸铁管が普通铸铁管とダクタイル铸铁管に分かれていない場合は、全国水道統計の当該都県の普通铸铁管とダクタイル铸铁管の管路延長の割合を利用して、それぞれの管路延長を設定した。

① 管種・管径別管路延長のデータが収集できた水道事業体(図1の赤色の地域、ただし東京都水道局の管轄域は⑤で後述する)は、表1の属性に合わせた形で管種・管径別延長を整理した。なお、ダクタイル铸铁管・鋼管・硬質塩化ビニル管において継手の種類が収集資料から得られていない場合は、管路の耐震化率を利用し、以下のi)～iv)の手順で継手別延長を設定した。

i) 全管路延長に対する鋼管の溶接継手とダクタイル铸铁管の耐震継手の割合が管路の耐震化率と仮定した。本研究では基幹管路を管径300mm以上とし、管径300mm未満は管路全体の耐震化率を、管径300mm以上は基幹管路の耐震化率を利用した。基幹管路及び管路全体の耐震化率のデータは、以下の手順で水道事業体毎に設定した。

a) 基幹管路

基幹管路の耐震化率は、耐震管延長が公表されている茨城県・埼玉県・神奈川県は県の公表データを利用し、それ以外の都県は厚生労働省の公表資料⁵⁾及び管路データ集⁶⁾の値を利用した。文献5)6)にない水道事業体は当該都県全体の値を用いた。なお、栃木県小山市に関しては文献7)の耐震化率を利用した。

b) 管路全体

管路全体の耐震化率は、管路データ集⁶⁾に管路全体の耐震化率が示されている水道事業体はその値を利用した。小山市は文献7)を利用した。それ

以外の水道事業体は、関東地方1都6県の管路データ集⁶⁾の基幹管路耐震化率と管路全体耐震化率の関係から回帰式を作成し(図2)、この回帰式とa)の基幹管路の耐震化率から管路全体の耐震化率を設定した。なお、図2では基幹管路耐震化率が30～60%程度の管路全体耐震化率は10%前後のもの、30～50%前後のものに二分されている。本研究ではこれらを特に区分せずに回帰式を作成したが、基幹管路耐震化率に対する管路全体耐震化率の地域性については今後の課題としたい。

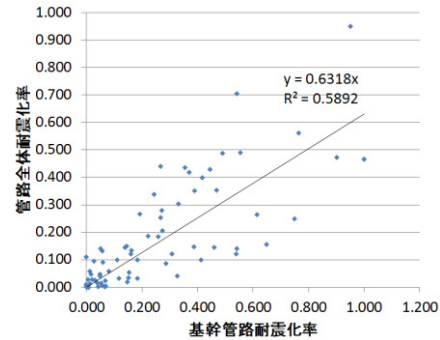


図2 基幹管路と管路全体の耐震化率の関係

ii) 鋼管(溶接継手)は鋼管全体に対する管路の耐震化率とし、鋼管(溶接継手以外)は鋼管全体から鋼管(溶接継手)の推定値を除外した延長とした。

$$L_{swd} = L_{std} \times R \quad (1)$$

$$L_{sgd} = L_{std} - L_{swd} \quad (2)$$

L_{swd} : 管径 d の鋼管(溶接継手)の延長[m], L_{std} : 管径 d の鋼管全体の延長[m], L_{sgd} : 管径 d の鋼管(一般継手)の延長[m], R : 管路の耐震化率。

iii) ダクタイル铸铁管(耐震継手及び普通継手)は、管路全体に対する耐震化率が整合するように、以下の式で示される延長とした。

$$L_{ard} = (L_{ttd} - L_{std}) \times R \quad (3)$$

$$L_{agd} = L_{atd} - L_{ard} \quad (4)$$

L_{ard} : 管径 d のダクタイル铸铁管(耐震継手)の延長[m], L_{std} : 管径 d の鋼管全体の延長[m], L_{atd} : 管径 d の管路全体の延長[m], L_{ttd} : 管径 d のダクタイル铸铁管全体の延長[m], L_{agd} : 管径 d のダクタイル铸铁管(一般継手)の延長[m], R : 管路の耐震化率。

iv) 硬質塩化ビニル管のTS継手とRR継手は、平成25年度管路の耐震化に関する検討会(2014)⁸⁾で検討対象とした対象事業体のRR継手とTS継手の管路延長に大きな違いがなかったことから、TS継手とRR継手の割合は各50%として設定した。

② 管種別管路延長・管径別管路延長データが収集できた水道事業体(図1の橙色の地域)は管種毎の管径割合は等しいと仮定し、管種別管路延長を各水道事業体における管径別管路延長の割合で案分して、管種別・管径別管理延長データを作成した。その際、硬質塩化ビニル管は既製品のサイズから最大径を600mmとした。設定した管種・管径別延長の継手区分は、耐震化率を利用し上記①i)～iv)と同じ手順で設定した。

③ 管種別管路延長データのみが収集できた水道事業体(図1の黄色の地域)は、上記①の1都6県で収集できた管種管径別延長を集計して設定した管種毎の管径別割合を、管種別管路延長に適用し、管種・管径別管路延長を設定した。硬質塩化ビニル管の最大径

と継手区分は上記②と同様の処置を行った。

- ④ 管路延長のみしか収集できなかった水道事業体はすべて群馬県の事業体であった。そこで、管種別延長が判明した群馬県の水道事業体の管種別延長を集計し、市部及び町村部毎の管種割合を設定するとともに、収集した管路延長を乗じて管種別延長を推定した。管種・管径別管路延長データを収集できた群馬県内の水道事業体のデータから管種毎の管径別割合を推定し、これを管種延長に適用することで、管種別管径別管路延長を設定した。
- ⑤ 東京都水道局の管轄域（東京都で武蔵野市、羽村市、昭島市、桧原村、島嶼部を除く地域）のうち、区部に関しては、区毎に配水本管（管径 400mm 以上）、配水小管（管径 350mm 以下）毎の管種別延長データと区部全体での管種毎の管径別延長データが収集できた。そこで、管種毎かつ本管・小管毎に管径別割合を設定し、これを区毎の本管・小管毎の管種別管路延長データに乗じることで、管種・管径別管路延長データを区毎に推定した。多摩地域に関しては、市毎の配水本管・小管別管路延長データと多摩地区全体の管種別管路延長データ、管径別管路延長データが得られたので、多摩地区全体の管種別管路延長データから管種別割合を設定し、これを市毎の配水本管・小管毎管路延長データに乗じて市毎の配水本管・小管毎管種別管路延長データを作成した。さらに、多摩地区全体の管径別管路延長データから設定した管径別割合を利用し、管種・管径別管路延長データを市毎に推定した。

簡易水道の管路データは、文献 9)の簡易水道事業所毎の管種別管路延長データに管径別構成割合（表 3）を乗じて管種・管径別管路延長データを作成した。表 3 の管径別構成割合は、関東地方の管路データ集⁶⁾に簡易水道で唯一記載があった成田市簡易水道事業のデータから簡易水道事業の管径を 250mm 以下と仮定し、関東地方の上水道事業のうち町村部の管径別管路延長を集計して、管径 250mm 以下の管路延長の集計値に対する各管径の管路延長の割合を求めたものである。なお、簡易水道事業の耐震化率はゼロと仮定した。

表 3 簡易水道の管径別構成割合の設定値

管径[mm]	75以下	100	125	150	200	250
上水道の町村部の管路延長[km]	5,433	2,917	47	1,569	595	177
管径別構成比	50.6%	27.2%	0.4%	14.6%	5.5%	1.6%

(4) 水道事業体別の管種・管径別管路データ作成

(3)で作成した水道事業体単位のデータを 250m メッシュ単位のデータに変換する手順を以下に示す。

- ① 水道事業体別管路延長を各メッシュへ配分するため、永田・山本(2011)¹⁰⁾の上水道管路延長の予測式を利用し、メッシュ内の道路総延長、一戸建世帯数、全産業事業所数、共同住宅世帯数からメッシュ内の水道管路延長を推定した。なお、一戸建世帯数と共同住宅世帯数は 2010 年国勢調査地域メッシュ統計を、全産業事業所数は 2010 年国勢調査地域メッシュ統計・2011 年経済センサスメッシュ統計のリンクデータを、メッシュ内の道路総延長は国土数値情報¹¹⁾を利用した。なお、永田・山本(2011)¹⁰⁾は 500m メッシュ単位の予測式であるが、国土数値情報のメッシュ内道路総延長は 1km メッシュ単位のため、1km メッシュ内の上水道管路延長を推定した。

- ② 上記①の各メッシュの管路延長を水道事業体別に集計し、これを重みとして利用して(3)で作成した水道事業体別の管種・管径別管路延長に乗じて、1km メッシュ別管種・管径別管路延長を求めた。
- ③ 1km メッシュから 250m メッシュへの配分は、中村ほか(2015)¹²⁾の 250m メッシュ別建物データの建物建築面積の重みで配分した。

3. データ作成結果と考察

図 3 には本研究で作成した 250m メッシュ別管路総延長、表 4 には作成したデータにおける都府県別管種別管路延長を示した。本研究で作成した 250m メッシュ別管種・管径別管路延長データの特徴を整理すると以下の通りである。

- ① 関東地方 1 都 6 県の水道管路延長は、約 16.1 万 km となった。管種別延長では、ダクタイル鋳鉄管が約 10.8 万 km (67%) と最も多く、次いで硬質塩化ビニル管が約 3.6 万 km (22%) が多くを占める結果となった。東京都や神奈川県といった大都市及びその近郊地域ではダクタイル鋳鉄管の構成比が高く、茨城県や群馬県では他地域と比較すると硬質塩化ビニル管の割合が相対的に高い傾向が、神奈川県では鋼管の割合が他地域よりも相対的に高い傾向がみられた。
- ② 管径別延長では管径 150mm 以下の小口径の管が約 8 割を占める結果となった。特に茨城県・千葉県では管径 75mm 以下の管が 4 割を超える結果となった。
- ③ 耐震管の割合は関東地方 1 都 6 県全体では約 17% となった。都県別では東京都が約 34% と最も高く、茨城県・栃木県・群馬県では約 5~7% と低い結果となった。本研究で作成した管路データの耐震化率が厚生労働省による平成 27 年度の耐震管の割合よりも低い傾向にあるのは、基幹管路だけでなく管路全体を対象とした耐震化率であるためと考えられる。ただし、管路全体の耐震化率に関しては、推定で求めた水道事業体も多く、これらのデータ収集については今後の課題と考えられる。

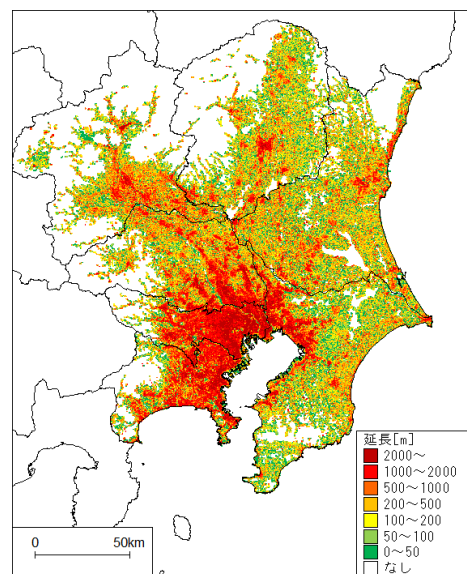


図 3 作成した 250m メッシュ別管路延長データ（総延長）

4. 東北地方太平洋沖地震における断水率の試算

本項では、作成した 250m メッシュ別管種管径別管路延長データのケース・スタディとして、2011 年東北地方太

平洋沖地震の水道管の被害と断水率の予測を行った。

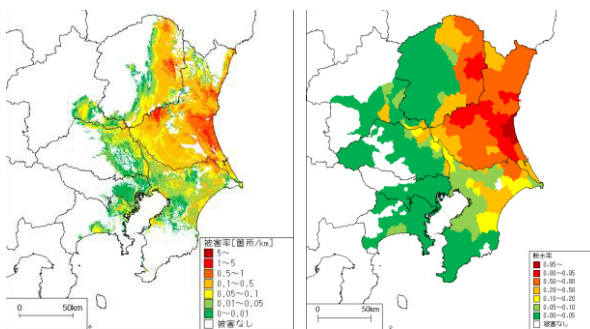
被害予測手法の枠組みは、管路被害のみから断水率を算出するものとし、標準被害率は東京都(1997)²⁾、管種管径補正は中央防災会議(2005)¹³⁾を利用して管路被害を算出した。管路被害から断水率を算出する手法としては川上(1996)¹⁴⁾を利用した。

被害予測に利用した地震動分布は、K-NET、KiK-net、気象庁・自治体の観測波形を利用し、工学的基盤で空間補間して推定した250mメッシュ別の最大速度を利用した。なお、今回は津波・液状化や停電の影響については考慮していない。

図4には250mメッシュ別の管路被害率と地震直後の市区町村別断水率の推定値を示した。また、表5には地震直後の都道府県別断水率とその推定値を示した。その結果、作成した管路データを利用した都道府県別断水率の推定値は実績値と比較的近い値となった。したがって、断水率の予測に関しては、少なくとも、本研究で作成した250mメッシュ別管種管径別管路延長データを用いて被害予測が可能であることを示した。

表4 作成データにおける管種別延長と耐震化率

単位 [km]	本研究の作成データ						(参考) 文献5)の 耐震化率
	総延長	ダクタイル 鋳鉄管	鋼管	硬質塩化 ビニル管	その 他管種	耐震管	
茨城県	23,453	10,103	213	11,840	1,297	1,577	---
	—	43.1%	0.9%	50.5%	5.5%	6.7%	15.9%
栃木県	15,422	9,856	124	3,106	2,337	750	---
	—	63.9%	0.8%	20.1%	15.2%	4.9%	7.5%
群馬県	14,559	6,966	313	5,978	1,302	781	---
	—	47.8%	2.2%	41.1%	8.9%	5.4%	7.4%
埼玉県	28,125	19,471	251	6,585	1,819	6,265	---
	—	69.2%	0.9%	23.4%	6.5%	22.3%	26.0%
千葉県	27,636	17,850	359	7,164	2,262	2,957	---
	—	64.6%	1.3%	25.9%	8.2%	10.7%	27.6%
東京都	27,555	26,182	401	132	840	9,395	---
	—	95.0%	1.5%	0.5%	3.0%	34.1%	39.9%
神奈川県	24,409	17,991	2,772	1,270	2,376	5,936	---
	—	73.7%	11.4%	5.2%	9.7%	24.3%	51.7%
計	161,158	108,418	4,433	36,074	12,233	27,660	---



(250mメッシュ別被害率)

(市区町村別断水率)

図4 2011年東北地方太平洋沖地震のケース・スタディ

表5 地震直後の都道府県別断水率の比較

	予測値	実績値
茨城県	67.0%	80.5%
栃木県	19.1%	21.3%
群馬県	3.5%	0.7%
埼玉県	2.6%	28.4%
千葉県	10.2%	14.0%
東京都	0.6%	0.3%
神奈川県	0.1%	0.6%

5. 今後の課題

本研究では、関東地方の上水道・簡易水道を対象に250mメッシュ別管種管径別管路延長データを作成した。管路データ作成に関する今後の課題を列挙すると以下の通りである。

- 本研究で対象としなかった工業用水道の反映方法
- 耐震化率や継手割合等のデータ収集
- 他地域でのデータ作成および全国展開

また、上記に加え、作成した管路データに基づく管路被害予測手法や断水率予測手法の検討、水道被害が避難者数に与える影響の検討等が、地震被害からのレジリエンス評価に必要と考えられる。

謝辞

本研究は国立研究開発法人防災科学技術研究所の「ハザード・リスク評価に関する研究」の一環として行われたものである。また、国立研究開発法人防災科学技術研究所のK-NET・KiK-net、気象庁及び自治体の震度観測点の観測記録を利用させて頂いた。

参考文献

- 1) 丸山喜久・山崎文雄：近年の地震データを考慮したマクロな配水管被害予測式の改良，第30回土木学会地震工学論文集，Vol.30，pp.565-574，2009.
- 2) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書，1997.
- 3) 日本水道協会：地震による水道管路の被害予測，1998.
- 4) 水道技術研究センター：地震による管路被害予測の確立に向けた研究報告書【概要版】，2013.
- 5) 厚生労働省：水道事業における耐震化の状況（平成27年度），2016.
- 6) 水道産業新聞社：全国水道事業体管路データ集2015，2015.
- 7) 小山市：管種別管路の耐震化状況，<https://www.city.oyama.tochigi.jp/kurashi/suido/josuido/annai/tai-shinnseinou.files/kannrotai-shinn.pdf> (2017年6月1日確認).
- 8) 平成25年度管路の耐震化に関する検討会：管路の耐震化に関する検討報告書，2014.
- 9) 厚生労働省医療・生活衛生局生活衛生・食品安全部水道課：平成26年度全国簡易水道統計.
- 10) 永田茂・山本欣弥：地震被害想定で用いるライフラインの埋設管延長の予測モデルに関する検討，土木学会第66回年次学術講演会，2011.
- 11) 国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報 ダウンロードサービス，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> (2018年9月18日確認).
- 12) 中村洋光・功刀卓・高橋郁夫・藤原広行・青井真・青柳京一・橋本光史・日下彰宏・本間芳則：リアルタイム被害推定・状況把握システムの開発状況，日本地震工学会 年次大会・国際シンポジウム2015，pp.4-32，2015.
- 13) 中央防災会議 首都直下地震専門調査会：首都直下地震に係る被害想定手法について，首都直下地震専門調査会 第15回，内閣府（防災担当）作成資料，2005.
- 14) 川上英二：道路交通システムの形状と連結確率の関係，第1回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集，pp.169-172，1996.