# 2016年熊本地震における上水道管路の被害分析 と被害率への影響度の分析

# 田口 裕貴1・丸山 喜久2

1学生会員 千葉大学大学院融合理工学府 博士前期課程 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33) E-mail: aeca2064@chiba-u.jp

<sup>2</sup>正会員 千葉大学大学院工学研究院 教授 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33) E-mail: ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

本研究では地理情報システム(GIS)を用いて、2016年熊本地震における上水道管路の被害分析を行った. 上水道管路の管種,継手,口径,微地区分,地震動強さと被害率の関係性を分析し,現行の被害予測式の 妥当性の評価を行った.また,液状化や微地形の境界条件を考慮して被害分析を行った.本研究の結果と 既往の予測式の口径補正係数,微地形補正係数は近い値となったが,管種・継手補正係数に関しては一致 しない場合もあった.さらに,各管路属性,地震動強さ,液状化,微地形の境界条件が管路の被害率に与 える影響度をつかむため,数量化理論 I 類による回帰分析を行った.

Key Words : GIS, Quantification type I, damage ratio ,damage pipeline, 2016 Kumamoto earthquake

#### 1. はじめに

2016年4月に発生した熊本県熊本地方を震源とする熊本地震では、死傷者は2600人以上にも及び、約19万戸の住宅被害が生じたことに加えて、道路、上下水道、電力、ガス等のライフラインシステムの施設にも多大な被害をもたらした.上水道については、震源地である熊本県における被害が最も多く、この地震による断水被害は約44万6000戸発生した<sup>1)</sup>.

水道管やガス管などのライフラインシステムは都市機 能や都市生活を維持するうえで必要不可欠である.した がって、これらのライフラインシステムを早期復旧させ ることは非常に重要である.そのためには、これまでの 地震によって発生した被害の特徴を分析し、その分析結 果をもとに、将来起こりうる地震に対して対策を講じる ことは、意義があるものと考えられる.

水道管の被害分析に関する研究は数多くある.例えば、 磯山ら<sup>2)</sup>は、1995年に発生した兵庫県南部地震における 芦屋市と西宮市の水道管路被害データに基づいて標準被 害率関数を作成し、地震動の最大加速度(PGA)や最大 速度(PGV)と上水道管路の被害率の関係を明らかにし ている.また、山本ら<sup>3</sup>は地理情報システム(GIS)を用 いて、兵庫県南部地震における配水管の被害要因の分析 を行い、地震動の大きさ、地盤条件や液状化の発生状況 などと被害の関係について分析している.高田ら<sup>4</sup>は, 兵庫県南部地震の際にとくに地震動が大きく建物被害の 多かった神戸市,西宮市,芦屋市と,地震動が比較的小 さかった大阪市,宝塚市,尼崎市のデータを用いて,管 路の被害予測式を提案している.兵庫県南部地震以降の 事例としては,長谷川ら<sup>5</sup>は新潟県小千谷市,長岡市を 対象として新潟県中越地震における水道配水管の被害分 析をGISにより行い,管路被害率と地形分類の関係性, および埋設年度の関係性を述べた.永田ら<sup>6</sup>は,東日本 大震災における仙台市の水道管路施設に着目し,被害と 地形,地質,宅地造成地,地震動との関係を分析し,分 析結果と既往の被害予測式の被害率と比較することで, 管路の耐震化の効果を確認している.

本研究では、まず熊本地震の際の熊本市と益城町の上 水道管路の被害分析を行う.管種・継手、口径、地形区 分、地震動強さと被害率の関係性を分析し、その分析結 果と現行の被害予測式を比較する.また、液状化や地形 の境界条件を考慮して被害分析を行う.さらに、上水道 管路の被害率に対する影響度を明らかにするために、熊 本地震の水道管被害データに加え、東北地方太平洋沖地 震の際の仙台市といわき市、新潟県中越沖地震の際の柏 崎市のデータを用いて、管路被害率を目的変数とした数 量化理論 I 類による回帰分析を行う.これらの結果に基 づき、これから起こると予測されている南海トラフ地震



図-1 管路の敷設状況,被害地点,地震動分布 (熊本市と益城町)



図-2 管路の敷設状況,被害地点,地震動分布 (仙台市)

や首都直下地震に備え、上水道の防災対策の立案に役立 てたいと考えている.

# 2. 本研究で使用したデータ

本研究では、地理情報システム(GIS)を用いて分析を 行った.3章と4章で対象とするのは、2016年熊本地震 の際の熊本市と益城町の上水道管路の被害である.熊本 市と益城町の管路の敷設状況、および被害地点を図-1 に示す.なお、微地形区分、熊本地震の際の液状化発生 地点は若松ら<sup>3,8</sup>が取りまとめたデータを用いる.また、 熊本地震の際の熊本市、益城町の地震動分布<sup>9</sup>を図-1 に 併せて示す.

また,5章では,熊本市と益城町の被害データに加え て,2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震



図-3 管路の敷設状況,被害地点,地震動分布 (いわき市)



図4 管路の敷設状況,被害地点,地震動分布 (柏崎市)

における仙台市<sup>10</sup>といわき市<sup>11</sup>,2007年新潟県中越沖地 震における柏崎市<sup>12</sup>の被害データを対象に分析を行った. 仙台市,いわき市,柏崎市の管路の敷設状況,被害地点, 管路データ,地震動分布をそれぞれ図-2~図-4に示す. なお,これらの地震動のデータは地震動マップ即時推定 システム<sup>13</sup>から取得した.

#### 3. 熊本地震における被害分析

熊本地震における熊本市と益城町の上水道管路の被害 率を算出した.なお,被害率は件/kmと定義した.普通 鋳鉄管(CIP),ダクタイル鋳鉄管(DIP),耐震継手を有す るダクタイル鋳鉄管(DIP(耐震)),ポリエチレン管(PE), 溶接継手の鋼管(SP(溶接)),溶接継手以外の鋼管(SP(その 他)),塩化ビニル管(VP)を対象に分析を行う.熊本市の

表-1	管種・口径別の被害件数及び被害率のクロス集計表
	(熊本市)

管種/口径(mm)		φ -40	φ 50-80	φ 100-150	φ 200-250	φ 300-450	φ 500-900	φ 1000-	全口径
CIP	被害件数(件)	0	3	25	0	7	0	0	35
	管路延長(km)	0.0	8.5	34.7	15.2	21.2	15.5	0.0	95.1
	被害率(件/km)	0.00	0.35	0.72	0.00	0.33	0.00	0.00	0.37
DIP	被害件数(件)	0	25	39	7	0	0	0	71
	管路延長(km)	0.0	418.7	1106.8	228.2	87.5	48.2	0.0	1889.5
	被害率(件/km)	0.00	0.06	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04
DIP(耐震)	被害件数(件)	0	0	0	0	0	0	0	0
	管路延長(km)	0.0	86.1	273.1	39.2	58.7	49.0	4.7	510.7
	被害率(件/km)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PE	被害件数(件)	1	0	0	0	0	0	0	1
	管路延長(km)	31.1	100.7	28.5	1.3	0.0	0.0	0.0	161.7
	被害率(件/km)	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
SP(その他)	被害件数(件)	13	37	12	0	0	0	0	62
	管路延長(km)	26.9	90.2	5.0	0	0	0	0	122.1
	被害率(件/km)	0.48	0.41	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51
SP(溶接)	被害件数(件)	0	3	1	5	3	5	1	18
	管路延長(km)	0.1	5.3	10.2	17.1	13.8	25.2	2.9	74.7
	被害率(件/km)	0.00	0.56	0.10	0.29	0.22	0.20	0.34	0.24
VP	被害件数(件)	16	41	14	0	0	0	0	71
	管路延長(km)	73.2	203.9	122.9	0.4	0.9	0.0	0.0	401.3
	被害率(件/km)	0.22	0.20	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
全管種	被害件数(件)	30	109	91	12	10	5	1	258
	管路延長(km)	131.3	913.4	1581.4	301.5	182.0	137.9	7.6	3255.1
	抽宝宝(杜/km)	0.22	0.12	0.06	0.04	0.05	0.04	0.12	0.09

# 表-2 管種・口径別の被害件数及び被害率のクロス集計表 (益城町)

管種/口径(mm)		φ -40	φ 50-80	φ 100-150	φ 200-250	φ 300-450	φ 500-900	φ 1000-	全口径
CIP	被害件数(件)	0	0	0	0	0	0	0	0
	管路延長(km)	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
	被害率(件/km)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIP	被害件数(件)			14	4	5			23
	管路延長(km)	0.0	3.0	17.2	5.9	10.7	0.0	0.0	36.8
	被害率(件/km)	0.00	0.00	0.81	0.68	0.47	0.00	0.00	0.62
DIP(耐震)	被害件数(件)	0	0	0	0	0	0	0	0
	管路延長(km)	0.0	0.0	2.2	1.8	1.1	0.0	0.0	5.1
	被害率(件/km)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PE	被害件数(件)	2	0	0	0	0	0	0	2
	管路延長(km)	4.6	7.5	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8
	被害率(件/km)	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
SP(その他)	被害件数(件)	6	6	0	0	0	0	0	12
	管路延長(km)	0.2	0.0	0.0	0	0	0	0	0.3
	被害率(件/km)	24.09	364.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.32
SP(溶接)	被害件数(件)	1	0	0	0	0	0	0	1
	管路延長(km)	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
	被害率(件/km)	4.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49
VP	被害件数(件)	41	98	22	0	0	0	0	161
	管路延長(km)	13.9	96.6	53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	163.7
	被害率(件/km)	2.95	1.01	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
全管種	被害件数(件)	50	104	36	4	5	0	0	199
	管路延長(km)	19.0	107.5	76.8	7.7	11.9	0.0	0.0	222.8
	抽塞率(件/km)	2.64	0.97	0.47	0.52	0.42	0.00	0.00	0.90



図-5 管種別の被害件数と管路延長(熊本市と益城町)

管種・口径別の被害件数及び被害率のクロス集計表を表 -1,益城町の管種・口径別の被害件数及び被害率のクロ ス集計表を表-2に示す.また,熊本市と益城町を合わせ た管種別の被害件数と管路延長を図-5,口径別の被害件 数と管路延長を図-6に示す.

熊本市の管路総延長は3255 kmであり,総被害件数は 258件,市全体での管路被害率は0.08件/kmであった.益 城町の管路総延長は223 kmであり,総被害件数は199件, 益城町全体での被害率は0.89件/kmで,熊本市全体の被 害率よりも約11倍大きな値を示した.熊本市と益城町の 総管路延長は3478 km,総被害件数は457件,全体の被害 率は0.13件/kmであった.熊本市と益城町の管路総延長



#### 図-6 口径別の被害件数と管路延長(熊本市と益城町)



図-7 管種別の被害率(熊本市と益城町)



図-8 口径別の被害率(熊本市と益城町)

3478 kmのうち,管種・継手はDIPが1926 km, 口径は φ 100-150 mmが1658 kmと, それぞれ最も多く占めている ことが確認された.また,総被害件数457件のうち, VP, DIP, SP(その他)の順で被害が多く発生しており, DIP(耐震)では被害が全く発生していないことが確認さ れている.特にVPの被害件数は232件で,全体のおよそ 50%を占めている.また,図-6によると,口径50-80 mm の被害数が213件と最も多く,口径200 mm以上で急激に 被害数が減少していることが確認された.

熊本市と益城町の管種別の被害率を図-7に示す.熊本市と益城町を合わせた被害率では、SP(その他)の被害率 が最も高く、次いでVPの被害率が高い.上水道管路の



図-9 微地形別の被害率(熊本市と益城町)



図-10 PGV別の被害率(熊本市と益城町)



(熊本市と益城町)

口径別の被害率を図-8に示す. 口径40 mm未満の管路の 被害率が0.53件/kmで最も大きな値を示した. 口径200-250 mm以下の範囲では, 口径が小さくなるに従って被 害率が大きくなる傾向がみられた.

次に上水道管路の微地形別の被害率を図-9に示す.なお、ここでは管種による区別は行っていない.文献<sup>49</sup>に従って微地形区分をグループ分けした.グループAは、山地、山麓地、丘陵、火山地、火山山麓地、火山性丘陵、グループBは、砂礫質台地、ローム台地、グループCは、谷底低地、扇状地、後背湿地、三角州・海岸低地、グル ープDは、自然堤防、旧河道、砂洲・砂礫洲、砂丘、グ ループEは埋立地、干拓地を示す.図-9によるとグルー プEの被害率が最も大きく、グループBの被害率が最も



図-12 微地形分布図と微地形の境界線 (熊本市と益城町)



図-13 微地形境界部と境界以外の被害率と管路延長 (熊本市と益城町)

小さい値を示したが、各グループの被害率の差異は小さい結果となった.

熊本地震の際の地震動分布を考慮し、PGV別の管路被 害率を図-10に示す.なお、ここでは、管路延長がおよ そ等しくなるようにPGVの区分を設定した. PGVが100 cm/s以上での被害率が最も高く、PGVが大きくなるに従 い、被害率が増加する傾向がみられた.

熊本地震の際に熊本市,益城町において液状化の発生 が確認されたことから,液状化に着目して上水道管路の 被害分析を行った.熊本市と益城町における全管種を含 めた液状化を考慮した被害率を図-11に示す.ここで, 液状化範囲とは,GIS上の対象とする250mメッシュ内の どこか1箇所でも液状化の発生が確認されているメッシ ュを指す.液状化範囲の被害率は0.69件/kmで,非液状 化範囲よりも約8.5倍大きな値を示した.このことから, 液状化が被害率に与える影響は大きいと考えられる.

さらに、微地形境界部と境界以外の管路被害率を算出 し、それらを比較することで、微地形分布図の境界部に おける管路被害の特徴を把握する.微地形の境界部に着 目し分析するために、まず、図-12に示すように地理情

管種・継ぎ手	$C_p$	口径	Cd	微地形	$C_{g}$
DIP-A	1.0	φ 50-80	2.0	山地, 山麓地, 丘陵, 火山 地, 火山山麓地, 火山性丘	0.4
DIP-K	0.5	φ 100-150	1.0	砂礫質台地, ローム台地	0.8
CIP	2.5	φ 200–250	0.4	谷底低地, 扇状地, 後背湿 地, 三角州, 海岸低地	1.0
VP	2.5	φ 300–450	0.2	自然堤防, 旧河道, 砂洲, 砂礫洲, 砂丘	2.5
SP(溶接)	0.5/0	(h 500-900	0.1	埋立地 干拓地 湖沼	5.0
SP(その他)	2.5	φ 000 000	0.1		0.0

#### 表-3 既往の被害予測式の補正係数



図-14 管種・継手補正係数の検証

報システム (GIS) で微地形の境界線を表示し,その境 界線を中心に250 m以内を微地形境界部と設定した<sup>15)</sup>. 図-13に,微地形境界部と境界以外の全管種の被害率と 管路延長を示す.熊本市と益城町の微地形境界部の管路 延長は1338 km,被害数は271件,被害率は0.20件/kmであ り,境界以外の被害率よりも2.2倍高い値を示した.微 地形境界部の被害率は,境界以外の被害率よりも高くな る傾向が認められた.

# 4. 被害予測式と熊本地震における管路被害率の 比較

#### (1) 被害予測式の補正係数

本章では、被害予測式<sup>40</sup>の補正係数と熊本地震の際の 管路被害率を比較する.益城町の被害データにおいて、 DIP の継ぎ手が不明であったため、ここでは熊本市の上 水道管被害のみを対象とする.被害予測式の補正係数の 基準となる標準管種・継手(DIP-A)、標準口径(¢100-150)、 標準微地形(谷底低地、扇状地、後輩湿地、三角州・海 岸低地)の被害率に対する他の管種・継手、口径、微地 形の被害率の比を算出し、それらを補正係数と比較する. 現行の被害予測式を式(1)に示す.



図-16 微地形補正係数の検証

 $R_m = C_p \times C_d \times C_g \times R(v)$  (1) ここで、 $R_m$ は上水道管路の被害率(件/km)、 $C_p$ は管種・ 継手補正係数、 $C_d$ は口径補正係数、 $C_g$ は微地形補正係 数、R(v)は標準被害率(件/km)である.各補正係数の値 については、**表-3**の通りである.

#### (2) 管種・継手補正係数Cpの評価

被害予測式の標準口径( φ 100-150)及び標準微地形(谷底 低地,扇状地,後輩湿地,三角州・海岸低地)における 標準管種・継手(DIP-A)の被害率と他の管種の被害率を 比較した(図-14).

標準口径かつ標準微地形における管種・継手別の被害率は、標準管種・継手DIP-Aと比較すると、CIPの補正係数2.5に対して43.3倍、DIP-Kの補正係数0.5に対して1.9倍、SP(その他)の補正係数2.5に対して140.7倍、VPの補正係数2.5に対して7.9倍と、どの管種も高い被害率の比を示した.特にSP(その他)とCIPは管路延長が短いこともあって、このような高い値を示したと考えられる.

### (3)口径補正係数C<sub>d</sub>の評価

管種継手補正係数の検証と同様に、標準管種・継手に おける標準口径の被害率と他の口径の被害率を比較した (図-15). φ200-250 mmでは、補正係数0.4に対して1.0 倍となっており、やや高い値を示しているが、φ50 mm-



図-18 各説明変数のカテゴリースコア

80 mmに関しては補正係数2.0に対して1.9倍となることが 確認でき、現行の補正係数と調和的な被害率が確認でき る. なお、 o 300 mm以上では被害件数が0件であるため、 被害率の比の値が0となっている.

#### (4)微地形補正係数 C<sub>g</sub>の評価

微地形補正係数Caの評価のため、微地形補正係数の 値と、標準管種・継手かつ標準口径における標準地形区 分(グループC)の被害率と他の地形区分の被害率の比率 を比較した(図-16). グループB, グループDの地形区分 では地形補正係数の値に対して2倍,2.3倍と大きな値を 示したが、グループA、グループEの区分では、補正係 数の値に対して0.7倍、5.4倍となり、補正係数と概ね調 和的な値であった.

#### 近年の地震被害に基づく管路被害率に対する 5. 影響度の分析

本研究では、管路属性や微地形の境界条件などの各要 因が被害率に与える影響度を掴むため、数量化理論 I 類 による回帰分析を行う<sup>10</sup>.回帰分析では、前述の熊本地 震における熊本市と益城町の被害データに加えて、東北 地方太平洋沖地震における仙台市、いわき市の被害デー タ,新潟県中越沖地震における柏崎市の被害データを用 いて分析を行う.ここで、図-17に仙台市、いわき市、 柏崎市の総管路延長,被害率を示す.これらの3都市に おいても、熊本市、益城町と同様に、GISのデータを重 ね合わせてデータを収集した. なお、管路延長がほとん どないようなデータの混入は、回帰分析に悪影響を与え る可能性が高いため、延長が1 km未満の被害データは除 外する.

回帰分析の目的変数は被害率(件km)とし,説明変数 は被害予測式<sup>14)</sup>を参考に,管種,口径,微地形,PGVと し,さらに本研究の結果を踏まえて微地形の境界条件と 液状化についても考慮する.説明変数については,管種 はDIP, CIP, PE, SP, SP(その他), VPの6区分,口径は $\phi$ 40 mm以下, $\phi$ 50-75 mm, $\phi$ 100-150 mm, $\phi$ 200-250 mm,  $\phi$ 300-450 mm, $\phi$ 500-900 mm, $\phi$ 1000 mm以上の7区分,

微地形は被害予測式と同じ区分でA区分(山地,山麓地, 丘陵,火山地,火山性山麓地,火山性丘陵),B区分(砂 礫質台地,ローム台地),C区分(谷底低地,扇状地,後 背湿地,三角州・海岸低地),D区分(自然堤防,旧河道, 砂洲・砂礫洲,砂丘),E区分(埋立地,干拓地,湖沼) の5区分,PGVは50 cm/s未満,50-60 cm/s,60-65 cm/s,65-70 cm/s,70-75 cm/s,75-80 cm/s,80-100 cm/s,100 cm/s以上 の8区分,微地形の境界条件は微地形境界部と微地形境 界以外の2区分,液状化は液状化範囲と非液状化範囲の2 区分とした.

本研究では、管路被害予測式の基準属性に倣って、管 種はDIP、口径は φ 100-150 mm、微地形はC区分を基準属 性としている. PGVと境界条件、液状化においては、管 路延長を考慮して、PGVは50 cm/s未満、境界条件は微地 形境界部以外、液状化は非液状化範囲を基準属性とした. 分析結果の各説明変数の係数から各項目の加重平均を引 くことによって、各説明変数の影響度を表すカテゴリー スコア<sup>ID</sup>を算出する. なお、各項目の影響度<sup>18</sup>は、分析 結果の各項目の説明変数の係数の最大値と最小値の差か ら算出する.

各説明変数のカテゴリースコアを図-18、各項目の影 響度を図-19に示す.分析結果の決定係数R<sup>2</sup>は0.33であ った. 図-18によると、PGV100 cm/sと液状化のカテゴリ ースコアが非常に大きな値を示した. これは、被害率を 高くすることに大きく影響していることを意味する. PGV60-65 cm/s, 65-70 cm/s, 70-75 cm/sにおいては、カテ ゴリースコアが小さく、同程度の値を示した. これは、 この3つのPGV区分のデータのうち、被害率が0件/kmの データがおよそ80%を占めていることが原因で、被害率 を小さくすることに影響していると考えられる. 微地形 においては、軟弱地盤であるD区分とE区分、境界条件 では微地形境界部が比較的大きな値を示した.図-19に よるとPGV, 液状化, 管種の順で影響度が大きな値を示 した.特にPGVの影響度が非常に大きく、次に大きな液 状化よりも約2.1倍大きな値を示した. 口径, 微地形, 境界条件の影響度は同程度で、微地形と境界条件を比較 すると、微地形の方がわずかに大きな値を示した.

# 6. まとめ

本研究では、熊本地震の際の熊本市と益城町の上水道 管路の被害分析を行い、分析結果から現行の被害予測式 の評価を行った. 熊本市と益城町全体の総管路延長は 3478 km, 総被害件数は 457 件, 全体の被害率は 0.13 件 /km であった. 熊本市と益城町の管路総延長 3478 km の うち, 管種・継手は DIP が 1926 km, 口径では o 100-150 mm が 1385 km と、それぞれ最も多く占めていることが 確認された. また, 総被害件数 457 件のうち, VP の被 害が232件と最も被害が多く発生しており、全体のおよ そ 50%を占めていることが確認できた. 全体の管種別の 被害率では、溶接接手以外の鋼管(SP(その他))が最も 高い値であった。 地表面最大速度(PGV)別の被害率では、 PGV100 cm/s 以上の被害率が最も高く, PGV が大きくな るに従い、被害率が増加する傾向がみられた. また、液 状化や微地形の境界条件に着目して被害率を算出し,液 状化範囲と微地形境界部に敷設されている管路の被害率 が大きいことが認められた.

熊本市の分析結果から現行の被害予測式の補正係数の 評価を行った.本研究の結果と既往の予測式の口径補正 係数,微地形補正係数は近い値となったが,管種・継手 補正係数に関しては一致しない場合もあった.さらに, 本研究では,微地形境界,液状化を数量化解析の説明変 数に加え,管種や口径などの他の要因と同時に解析し, この結果に基づき,被害率に対する影響度を求めた. PGV の影響度が最も大きく,次いで,液状化,管種の 影響度が大きいという結果になった.口径,微地形,境 界条件は同程度の影響度を示した.

#### 参考文献

- 厚生労働省:平成 28 年(2016 年)熊本地震水道施設被害等 現地調査団報告書,2016.
- 磯山龍二,石田栄介,湯根清二,白水暢:水道管路の地 震被害予測に関する研究,水道協会雑誌,第 761 号, pp.25-40,1998.
- 山本明弘,久保哲也,野田茂:1995 年兵庫県南部地震に よる配水管の被害分析,第24回地震工学研究発表会講演 論文集,pp.1325-1328,1997.

4) 高田至郎,藤原正弘,宮島昌克,鈴木泰博,依田幹雄、 戸島敏雄:直下型地震災害特性に基づく管路被害予測手法 の研究、水道協会雑誌、Vol. 70、No. 3、2001 年、pp. 21-37.

- 5) 長谷川浩一, 酒井久和, 若松加寿江, 佐藤忠信: GIS を 用いた新潟県中越地震における水道管の被害分析, Theory and Applications of GIS, 2005, vol.13, No.2, pp.41-49, 2015.
- 永田茂,西野雅夫,鈴木清一:東日本大震災における上 水道管路施設の被害分析,土木学会第67回年次学術講演 会,pp.415-416,2012.

- 7) 若松加寿江,松岡昌志:全国統一基準による地形・地盤 分類 250m メッシュマップの構築とその利用,日本地震 工学会誌, No.18,pp.35-38,2013.
- 8) 若松加寿江,先名重樹,小澤京子:平成28年(2016年) 熊本地震による液状化発生の特性,日本地震工学会論文 集 第17巻,第4号,pp.81-100,2017.
- 松岡昌志:強震観測記録に基づく 2016 年熊本地震の地震 動分布の推定,地域安全学会梗概集, No. 42, pp. 23-26, 2018.
- 10) 公益社団法人 日本水道協会:平成 23 年 (2011 年)東日本大震災における管本体と管路付属設備の被害調査報告書,平成24年9月.
- 11) 鍬田泰子,佐藤圭介,加藤蒼二:東日本大震災における 二地震の被害分析に基づく配水管路脆弱性評価,日本地 震工学会論文集 第16巻,第8号(特集号),2016.
- 公益社団法人 日本水道協会:平成 19 年(2007 年) 新潟
   県中越沖地震水道施設被害等調査報告書, 2007.
- 13) 産業技術総合研究所:地震動即時推定システム,

https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/QuakeMap/index.html

- 14) 水道技術研究センター:平成 28 年熊本地震を踏まえた 「地震による管路被害予測式」の見直しに関する検討, 2016.
- 15) 七郎丸一考・宮島昌克:微地形分類の境界条件を考慮した水道管被害率の一考察,第4回相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム講演集,土木学会,pp.82-89,2012.
- 石田栄介・磯山龍二:東日本大震災における仙台市水道 管の分析,日本地震工学会論文集 第 19 巻,第 1 号, pp.1-20, 2019.
- 統計分析研究所 株式会社アイスタット:数量化1類 (1/3), <u>https://istat.co.jp/ta\_commentary/method1</u>
- 統計分析研究所 株式会社アイスタット:数量化1類 (2/3), <u>https://istat.co.jp/ta\_commentary/method1\_02</u>

# DAMAGE ANALYSIS OF WATER DISTRIBUTION PIPELINES DURING THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE AND EVALUATION OF THE CAUSE OF DAMAGE FOLLOWING RECENT EARTHQUAKES

## Yuki TAGUCHI and Yoshihisa MARUYAMA

In this study, the authors conducted a damage analysis of water distribution pipelines during the 2016 Kumamoto earthquake using Geographic Information System (GIS). We analyzed the relationship among the pipe material, diameter, topographic condition, seismic intensity and damage ratio of the water distribution pipelines. Besides, the damage ratios were compared with the correction coefficients of fragility function of water pipes. In order to reveal the cause of damage to water distribution pipelines during an earthquake, we performed a regression analysis based on the quantification type I. To achieve the objective, damage datasets in the five municipalities were employed in this study.