

下水道埋設管路の地震被害データに対する統一的な整理・分析と解釈

筑波大学 学生会員 ○畠山 大治 正会員 庄司 学 鹿島技術研究所 正会員 永田 茂

1. 目的: 熊本地震を含めた既往の地殻内地震による下水道埋設管路の地震被害データに対して、液状化及び非液状化領域に分類した上で、管種、口径および微地形区分の観点から地震動強さと被害率の関係を明らかにする。

2. 分析方法: 本研究では、熊本地震の熊本市、益城町、阿蘇市、嘉島町、兵庫県南部地震の神戸市、新潟県中越地震の小千谷市、旧長岡市(以下、長岡市)、旧川口町(以下、川口町)、能登半島地震の輪島市門前地区(以下、輪島市)、新潟県中越沖地震の柏崎市、岩手・宮城内陸地震の栗原市、の11地域の下水道埋設管路データを対象とする。熊本地震の4地域においては、枝線であつ、管種、口径、形状、施工年が全て明らかとなっているデータを対象とした。嘉島町については被害延長 L_d のデータのみで、敷設延長 L についてのデータは得られていない。液状化領域については、文献1),2)に示された250mメッシュのデータを適用した。神戸市においては、口径900mm以下の管路を枝線とみなして分析対象とした。液状化領域は「神戸 JIBANKUN」の噴砂発生範囲と定義した。新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震の6地域については、文献3)のデータで管種と口径の情報が得られているものを対象とした。液状化領域としては、文献4)の液状化発生地点のポリゴンデータを用いた。これらのデータに基づき、被害率 R は被害延長 L_d を敷設延長 L で除して定義した。地震動強さは、地表面最大加速度 PGA 、地表面最大速度 PGV 、計測震度 IJ 、 SI 値を適用し、それらの空間分布は熊本地震では文献5)、兵庫県南部地震では文献6)、その他の地震では文献3)を適用した。

3. 被害の特徴: 管種に関して、VP,VU管とHP管に主に被害が生じている(図1)。また、地域によってはVP,VU管よりHP管の被害率が高くなっており、益城町と神戸市における液状化領域および輪島市と阿蘇市における非液状化領域での被害率がいずれも0.2[km/km]以上と高い。口径に関しては、益城町の液状化領域において、口径300mm未満の管路と口径300mm以上600mm未満の管路が、いずれも0.25[km/km]以上と高い(図2)。微地形区分に関しては、益城町の液状化領域におけるローム台地、火山地、沖積平野、および長岡市の山地、谷底低地・扇状地の被害率が高い(図3)。 PGV と被害率の関係については、液状化領域では、益城町において $PGV=120\sim190$ [cm/s]の範囲で $R=0.361\sim0.416$ [km/km]と高い被害率を示す(図4)。次いで、小千谷市や長岡市で $PGV=70\sim110$ [cm/s]の範囲で $R=0.214\sim0.574$ [km/km]と高い被害率を示す。熊本市や阿蘇市、神戸市では、いずれの PGV の範囲においても被害率が $R=0.011\sim0.233$ [km/km]と相対的に低い。非液状化領域では、小千谷市、長岡市、川口町、柏崎市、輪島市において $PGV=80\sim130$ [cm/s]の範囲で被害率が $R=0.029\sim0.353$ [km/km]と高い。熊本市、阿蘇市および神戸市では被害率が $R=0.001\sim0.117$ [km/km]と相対的に低くなっている。

4. 管種、口径、微地形区分及び液状化の観点からみた被害率間の関係: 管種、口径、微地形区分ごとにクロス集計を行った後に、文献6)や文献7)と同様に、地震動強さ x に対する被害予測式を $R_m^*(x) = C_p C_d C_g R^*(x)$ と定め、被害率間の関係を明らかにした。なお $R_m^*(x)$ は管種、口径および微地形区分の組み合わせ m における補正被害率、 $R^*(x)$ は標準被害率、 C_p 、 C_d 、 C_g は管種、口径、微地形区分及び液状化に関する補正係数を表す。基準とする被害率は管種がVP,VU管、口径が $0 \leq \Phi < 300$ [mm]、沖積平野の非液状化領域とした。図5より管種に関してはPP管、TP管の補正係数が高く、FRPM管、HP管およびSP管は同程度で低い値となり、DCIP管の値は非常に低い。口径に関しては、口径が1000[mm]まで大きくなるにつれ補正係数が低くなるため、構造信頼性は高まると言える。微地形区分に関しては、丘陵・火山性丘陵、ローム台地、火山地の順に特に補正係数が低かった。山地、干拓地・埋立地、砂礫質台地、砂州・砂礫州、谷底低地・扇状地では1よりも相対的に補正係数は低いが、ある程度の被害が生じうると言える。液状化領域の補正係数は高いため、被害が甚大であったことを示す。

5. 基準となる区分での被害の特徴: 合算したデータを用いて、基準とする管種、口径、微地形区分における実被害データの整理と標準被害率曲線の構築を行った。被害率曲線のモデルは、 PGA 、 PGV については対数正規分布を用い、 $R^*(x) = C \cdot \Phi(\ln x - \lambda/\zeta)$ とした。 IJ については正規分布を用い、 $R^*(x) = C \cdot \Phi(x - \mu/\sigma)$ とした。非線形最小二乗法で導出したパラメータの値を表1に示し、図6に PGV および IJ と被害率の関係を示す。 PGV に関しては、実被害データは $PGV=25\sim85$ [cm/s]の範囲で被害率が $R=0.024\sim0.202$ [km/km]まで増加するが、 $95\sim135$ [cm/s]の範囲で $0.004\sim0.032$ [km/km]と低い被害率を示し、 $145\sim155$ [cm/s]では被害率が $0.090\sim0.118$ [km/km]と卓越している。 IJ に関しては、実被害データは $IJ=5.4$ に対する被害率が $R=0.086$ [km/km]と高くなり、 $5.5\sim6.0$ の範囲で被害率が $0.006\sim0.133$ [km/km]まで増加するが、一方で $6.1\sim6.3$ の範囲で $0.017\sim0.044$ [km/km]と低い被害率を示し、 6.4 で被害率が 0.222 [km/km]と卓越する。

キーワード 熊本地震、下水道埋設管路、地震被害、液状化、被害率曲線

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 TEL029-853-7368

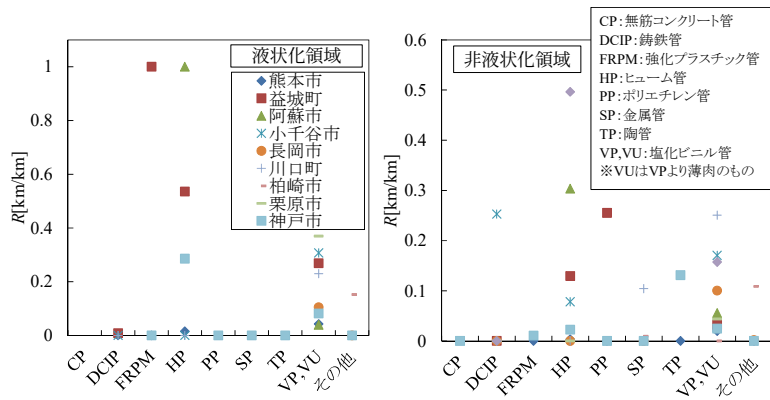


図1 管種の観点からみた被害率

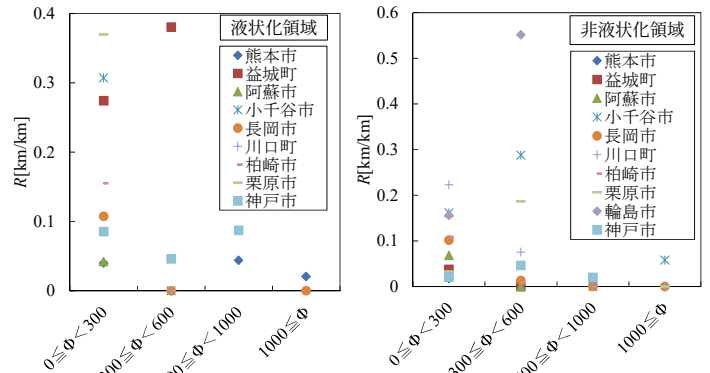


図2 口径Φ[mm]の観点からみた被害

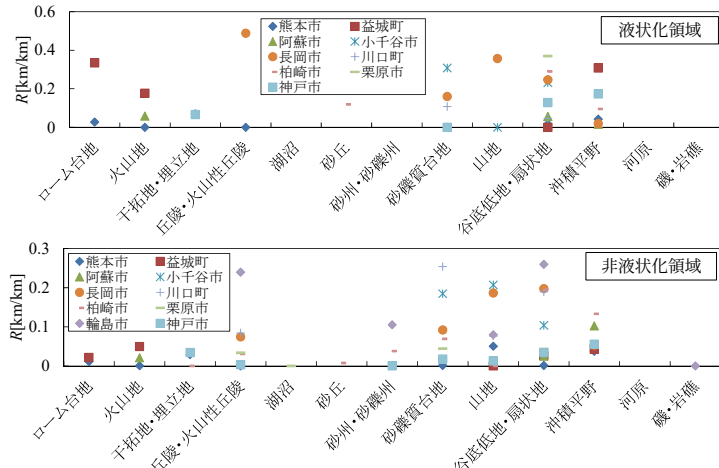


図3 微地形区分と被害率の関係

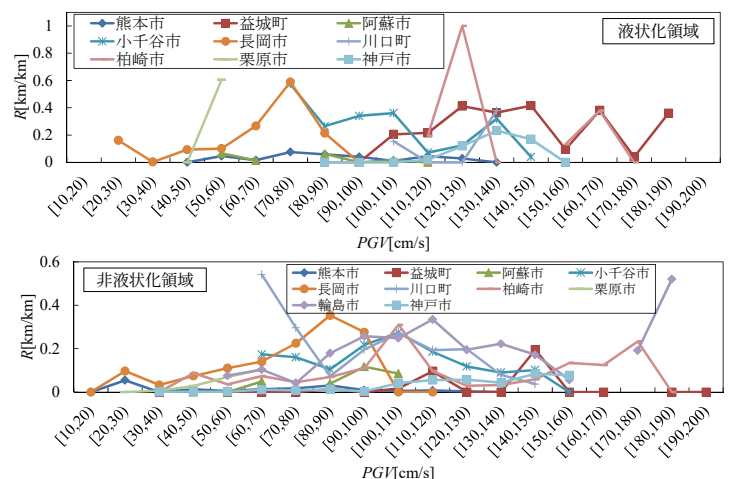


図4 地表面最大速度PGVと被害率の関係

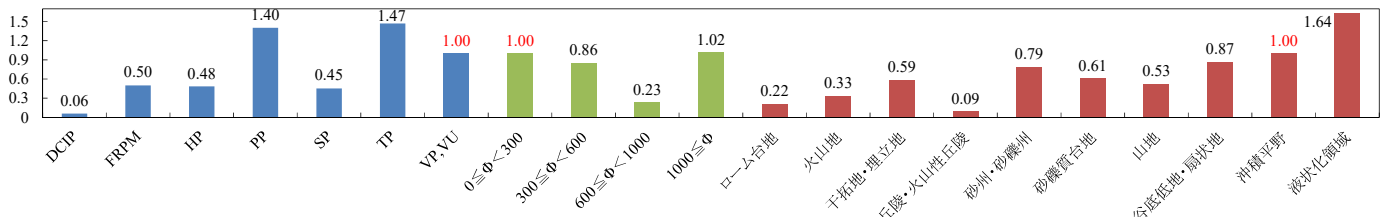


図5 算出された補正係数

表1 標準被害率曲線のパラメータと制約条件

	C	λ	ζ	μ	σ	適用範囲
$PGV[cm/s]$	未定係数	0.063	3.255	0.694	32.966	25.940
	制約条件	$0.00 \leq C \leq 1.00$	$3.22 \leq \lambda \leq 5.11$	$0.69 \leq \zeta \leq 1.88$	$20.0 \leq \mu \leq 170.0$	$4.28 \leq \sigma \leq 65.72$
IJ	未定係数	0.063	-	5.609	0.049	
	制約条件	$0.00 \leq C \leq 1.00$	-	$5.4 \leq \mu \leq 6.4$	$0.02 \leq \sigma \leq 0.57$	$5.4 \leq IJ \leq 6.4$

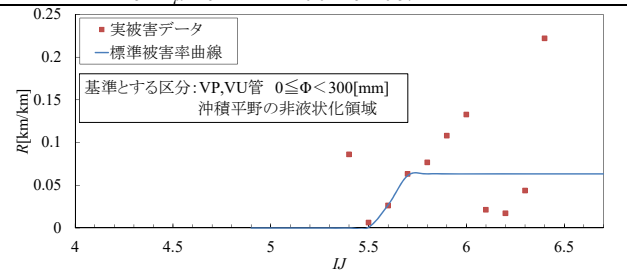
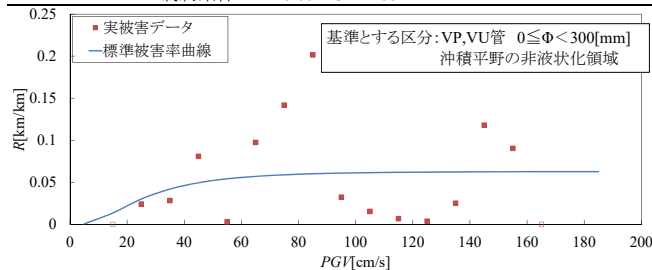


図6 基準の区分でのPGVおよびIJと被害率の関係

謝辞: 本研究を実施するに当たり、熊本県土木部道路都市局下水道環境課および熊本市上下水道局に熊本地震における管渠被害データの提供をして頂きました。関東学院大学理工学部土木学系の若松加寿江先生、東京工業大学の松岡昌志先生、防災科学技術研究所の先名重樹博士には熊本地震の液状化メッシュマップ、および微地形区分データの提供をして頂きました。ここに関係各位に対して厚く御礼申し上げます。

参考文献: 1) J-SHIS Historical Liquefaction Map: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/liqmap/> (2017年12月21日参照)。2) 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特性, 日本地震工学会論文集, 第17巻, 第4号, pp.81-100, 2017.8。3) 永田茂, 石田寛, 日下彰宏, 濱田政則, 庄司学, 山本欣弥: 近年の被害地震の被災データに基づく下水道管路網の地震被害率曲線の構築, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1765-1772, 2010。4) 若松加寿江: 日本の液状化履歴マップ 745-2008, DVD, 東京大学出版会, 2011。5) 水越湧太, 庄司学: 2016年熊本地震において強震動の作用を受けた道路ネットワークの被害分析, 土木学会第72回年次学術講演会概要集 (DVD-ROM), pp. 171-172, 2017.9。6) 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(地震工学論文集 第33巻), pp.1,921-1,946, 2014。7) 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67巻, 第2号, pp.25-40, 1998。