

強震動と地表断層変位の空間変動を考慮した上・下水道埋設管路のフラジリティ特性

筑波大学 学生会員 ○岡野 莉子 正会員 庄司 学

1. はじめに

熊本地震により、強震動や液状化、地盤変状に加えて、断層変位などが複合的に作用した。そのため被害モードが複雑となり、上・下水道埋設管路に広範囲な断水や下水道使用制限が生じ、被害を受けた。このように社会経済活動に大きな影響を与えるような被害に対する減災対策には高精度な被害推定が必要となる。本研究の目的として、強震動並びに地表断層変位の複合作用による上・下水道埋設管路の2変量フラジリティ特性を明らかにする。

2. 強震動と地表断層変位の空間変動の推定

地震波の波動伝播シミュレーションには空間4次、時間2次精度の有限差分法¹⁾を適用した。震源モデルにはAsano and Iwata²⁾による本震の震源モデルを適用する。このモデルにおいて設定されている震源時間および震源位置は気象庁³⁾によって既定されているものである。地下構造については、地震調査研究推進本部の地下構造データ⁴⁾を適用する。計算領域は分析する対象地域が計算領域の境界から十分に離れるように設定する。時間刻みを0.005秒、計算時間を50秒とし、対象地域におけるせん断波速度 $V_s=350$ m/s相当の工学的基盤面に入射した地震波を推定した。図-1に推定した地震波の地表面最大速度 PGV の空間分布を示す。

地表断層変位の空間分布は食違い弾性理論に基づくOkada⁵⁾の計算手法を用いて推定する。熊本地震の震源断層モデルは国土地理院モデル⁶⁾を用いる。計算に必要なP波およびS波速度に関しては先述の気象庁が公表している熊本地震の震源位置³⁾におけるP波およびS波速度を適用した。計算領域は、管路、地表断層および震源モデルが全て含まれるように設定し、50m格子に分割して計算を行った。以上より、地表変位の東西方向、南北方向、鉛直方向の3方向の変位ベクトルよりそのノルム U を求めた。図-2に推定した地表断層変位 U の空間分布を示す。

3. 上・下水道埋設管路の2変量フラジリティ特性

益城町の上水道埋設管路において PGV 並びに U に対する2変量フラジリティ特性を図-3に示す。 $0.8 \text{ m/s} \leq PGV < 1.6 \text{ m/s}$ 、 $1.0 \text{ m} \leq U < 2.0 \text{ m}$ の複合作用を受けている領域において、被害率 R_w が最大1.24件/kmの高い値を示していることがわかる。益城町の上水道埋設管路の被害発生は極めて高い値である PGV の作用に加えて U が作用し被害を助長することで、図-3のようなフラジリティ特性が顕在化したと考えられる。これは兵庫県南部地震の神戸市における被害率0.439件/km⁷⁾の約3倍、東北地方太平洋沖地震の浦安市における被害率1.10件/km⁸⁾と同等である。

下水道埋設管路については益城町、熊本市それぞれの2変量フラジリティ特性を図-4(a)、図-4(b)に示す。合わせてそれらのデータを統合した結果を図-4(c)に示す。図-4(c)において、 $0.2 \text{ m/s} < PGV \leq 1.0 \text{ m/s}$ および $0.2 \text{ m} < U \leq 1.0 \text{ m}$ の相対的に低い値の領域では、 PGV および U がともに大きくなるにつれて線形的に増加する傾向があり、これは図-4(b)の熊本市における下水道埋設管路の被害の特徴である。この領域における被害率 R_s の平均は0.033 km/kmであり、これは兵庫県南部地震の神戸市非液状化領域における被害率0.02 km/km⁷⁾と同程度である。一方で、 $1.0 \text{ m/s} < PGV \leq 1.6 \text{ m/s}$ および $1.0 \text{ m} < U \leq 2.0 \text{ m}$ の領域では、1.0 m/sを越える非常に高い PGV によって発生した被害をさらに助長させるように U が作用している特徴が見られる。これは、図-4(a)益城町における下水道埋設管路の被害特徴である。この領域における被害率 R_s の平均は0.097 km/kmであり、これは東北地方太平洋沖地震の浦安市における被害率0.112 km/km⁸⁾と同等である。また被害率 R_s が0.70 km/kmを越える非常に大きな被害率の領域が存在しているが、これは PGV や U の作用に加えて液状化が発生していた領域であり、地盤の非線形によってさらに被害が助長されている。兵庫県南部地震の神戸市において、液状化領域と非液状化領域では被害率が大きく異なっていることから、今後は液状化領域と非液状化領域に分けてフラジリティ特性の解明を行う必要があると考える。

上・下水道埋設管路ともに U による被害の助長が見られたが、図-3と図-4(c)より助長の度合いが上水道埋設管路より下水道埋設管路の方が大きいことから、下水道埋設管路の方が U による作用に脆弱であると考えられる。

キーワード 熊本地震、上・下水道埋設管路、フラジリティ特性、地表面最大速度、地表断層変位

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学 大学院理工情報生命学術院 システム情報工学研究群 TEL029-853-7368

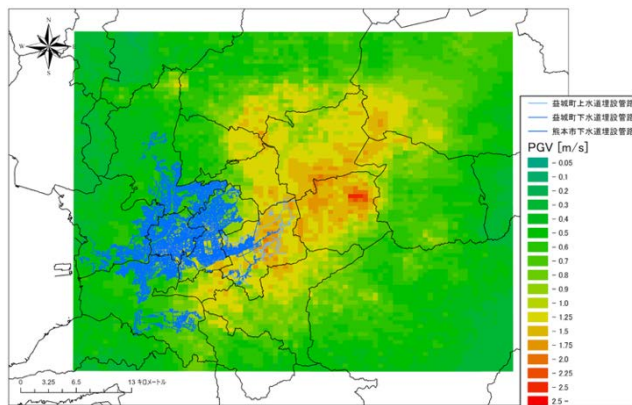
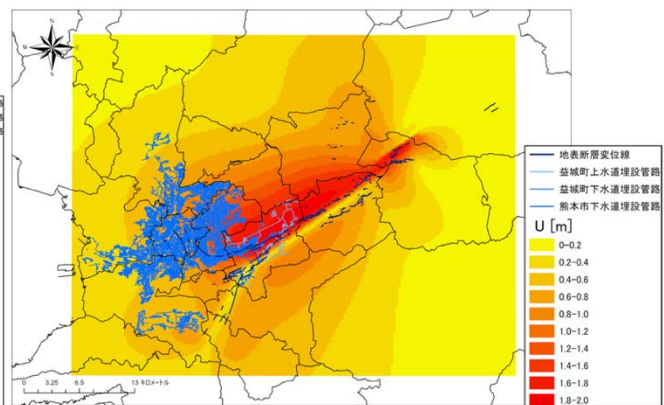
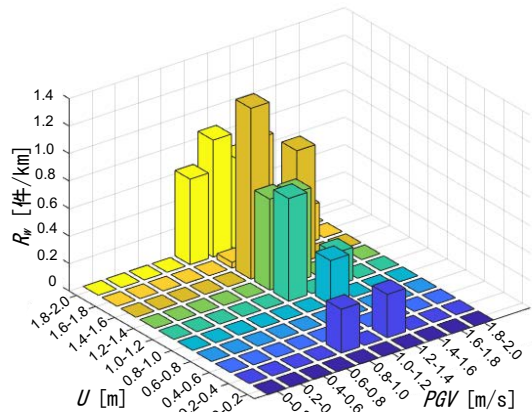
図-2 推定した地表面最大速度 PGV の空間分布図-1 推定した地表断層変位 U の空間分布

図-3 上水道埋設管路の2変量 fragility 特性

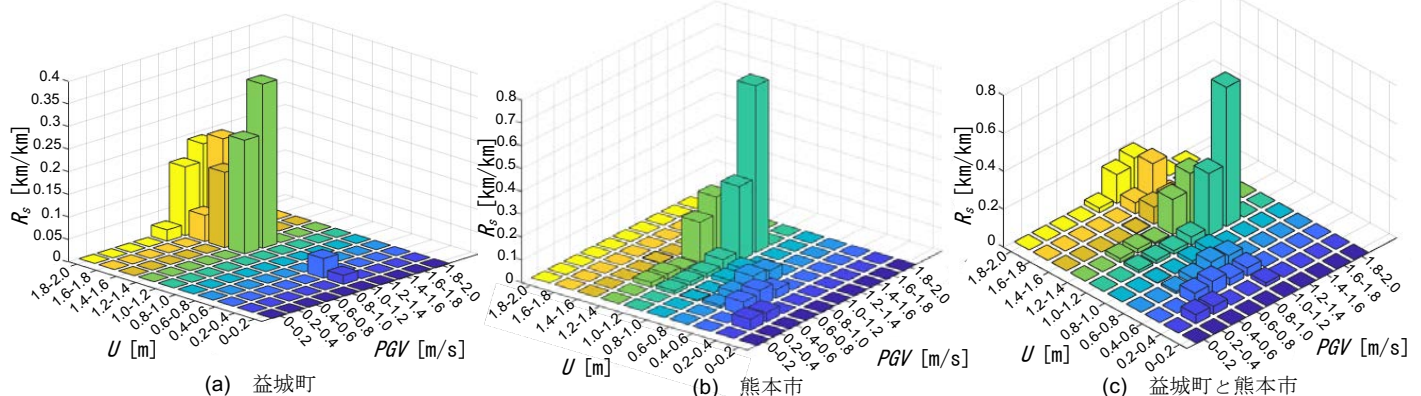
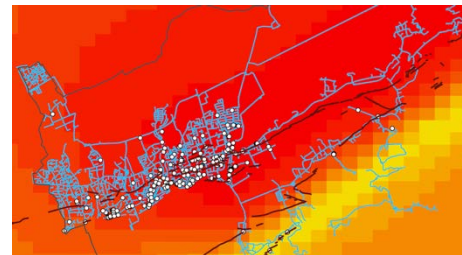


図-4 下水道埋設管路の2変量 fragility 特性

4. 結論

熊本地震における強震動並びに地表断層変位の空間分布を推定し、それらに対する益城町並びに熊本市の上・下水道埋設管路の2変量 fragility 特性を明らかにした。今後は管路と地表断層変位の3次元的な位置関係についても指標の1つに加え、多変量の fragility 特性のモデル化について明らかにしていきたい。

謝辞： 熊本県益城町並びに熊本市の上・下水道関連部局には貴重なデータ提供を賜りました。京都大学の浅野公之博士並びに岩田知孝博士には熊本地震の震源データをご提供いただきました。ここに記して全ての皆様方に謝意を表します。

参考文献： 1) Aoi, S. and Fujiwara, H.: 3-D finite difference method using discontinuous grids, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.89, pp.918-930, 1999. 2) Asano, K., and Iwata, T.: Source Rupture Processes of the Foreshock and Mainshock in the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence Estimated from the Kinematic Waveform Inversion of Strong Motion Data, *Earth, Planets and Space*, pp.68-147, 2016. 3) 国土交通省, 気象庁: 平成28年(2016年)熊本地震～The 2016 Kumamoto Earthquake～, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/index.html, (2023/3/29 閲覧) 4) 地震調査研究推進本部: 全国1次地下構造モデル(暫定版), https://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/, (2023/3/29 閲覧) 5) Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.75, No.4, pp.1135-1154, 1985. 6) obayashi, T., Yarai, H., Kawamoto, S., Morishita, Y., Fujiwara, S., and Hiyama, Y.: Crustal deformation and fault models of the 2016 Kumamoto earthquake sequence: foreshocks and main shocks, In: Freymueller J., Sanchez L. (eds), *International Symposium on Advancing Geodesy in a Changing World*, International Association of Geodesy Symposia, Vol.149. Springer, Cham, DOI10.1007/1345_2018_37, 2018. 7) 佐々木隆: 管路被害の事例, 阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧, 阪神・淡路大震災調査報告書編集委員会, 土木学会, pp.57-69, 1997. 8) 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ー茨城県および千葉県の情報得られた被災都市の傾向ー, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 68, No.4(地震工学論文集第31-b巻), I_1194-I_1209, 2012.