

2016年熊本地震で発生した地表断層変位に対する上・下水道埋設管路被害

筑波大学大学院 学生会員 ○皆川 大雅 筑波大学システム情報系 正会員 庄司 学

1. 目的: 2016年熊本地震では熊本市や熊本県益城町などにおいて地表断層変位が多数観測された¹⁾。本研究では、それらによる上・下水道埋設管路網の被害の傾向を明らかにするために、管路網に作用した地表変位量を算定した上で、それらに基づく被害分析を行う。

2. 分析対象:

(1)上水道埋設管路: 益城町における敷設管路, 被害地点および地表断層変位線¹⁾のデータを重ね合わせ, 敷設管路が地表断層変位線と交差した箇所を図1ならびに表1のように同定した。3章で用いる空中写真も併せて図1に示す。これらの写真は2016年4月29日に撮影されたものであり, 益城町で9枚得られている。その上で, この交差した箇所に対して, a) 敷設管路に沿って作成した2mメッシュデータをを用い上水道埋設管路網を分割(以下, 分割管路)し, b) 分割管路の両端座標に基づいて北を0°とした敷設角度 θ を算出することで各交差点の敷設角度 θ と定義する。次に, 地表断層変位により被害を受けたと考えられる被害地点に対しては, a) 被害地点と地表断層変位線の最短距離を求め, その距離が5m以内となる被害地点を抽出し, b) 各被害地点に最も近い分割管路の敷設角度 θ を被害地点の敷設角度 θ として定義する。以上より得られた交差点数 N_w と被害地点数 N_{wd} を用いて, 被害率 R_w を式(1)のように定義する。

$$R_w = \frac{N_{wd}}{N_w}, R_s = \frac{L_{sd}}{L_s} \quad (1)$$

表1 分析データ数

対象管路		上水道埋設管路(件数[件])		下水道埋設管路(件数[件])	
対象地域		益城町		熊本市	益城町
敷設管路	被害なし	4852	84902	5505	
	被害あり	216	2276	509	
交差箇所	被害なし	156	138	122	
	被害あり	11	8	21	

(2)下水道埋設管路: 熊本市および益城町における敷設管路²⁾, 被害管路²⁾および地表断層変位線¹⁾のデータを重ね合わせ, 管路が地表断層変位線と交差した箇所を図2のように同定した。図1と同様に益城町で得られた9枚の空中写真も同時に示す。上記で交差した敷設管路および被害管路のそれぞれ1スパンを分析対象とする。交差した箇所の敷設角度 θ は被害有無に関わらず, 1スパンの両端座標に基づき算定する。ある一定領域における被害なしスパンの累積延長を敷設延長, 被害ありスパンの累積延長を被害延長として定義し, 被害率 R_s は被害延長 L_{sd} を敷設延長 L_s で除したものとして上記の式(1)のように定義する。

3. 空中写真による被害の検証: 2章で抽出した被害地点および被害スパンに対して, 図1および図2に示す9枚の空中写真を用いて地表断層変位が作用したか否かを目視により確認した。その結果, 上水道については表1に示す11箇所の交差箇所から8箇所, 下水道については益城町の21箇所の交差箇所から17箇所がそれぞれ抽出された。上水道については, 8箇所の内1箇所において被害箇所直近で道路部の亀裂が見られ, 他7箇所においては被害点付近の道路部に補修跡が確認された。したがって, 全8箇所において道路下に埋設されている上水道管路部に対して地表断層変位による被害が生じた可能性が高い。益城町の下水道については, 17箇所の内11箇所において付近に道路亀裂などの被害が見られたが, 他の6箇所では道路上に変状は観察されなかった。この要因としては, 下水道の場合は1スパンで滞水による被害として定義されているため, 交差点では被害が顕在化しておらず, 交差点を含めた1スパン内のいずれかの地点で被害が発生していたためと推察される。

4. 変位量の推定: 上述の上水道管路ならびに下水道管路に対する交差箇所の地表変位量を推定するため, 食違い弾性理論に基づくOkada³⁾の計算手法を用いて地表変位の空間分布を算定した。本推定手法は震源断層モデルから得られるパラメータを用いて地表面の静的変位量を算定するものである。畠山ら²⁾が国土地理院の震源断層モデル⁴⁾に基づき推定した地表面の南北方向変位 U_n [m], 東西方向変位 U_e [m]および鉛直方向変位 U_z [m]の空間分布を用いる。なお, 変位量計算を行う領域としては管路, 地表断層変位および震源モデルが含まれるような東西52[km], 南北40[km]の領域とし, 50[m]格子に分割して計算が行われている。これらの変位量はそれぞれ北側, 東側および鉛直上向きを正としている。図3には南北方向における地表変位量 U_n を代表して示す。

5. 被害の傾向分析: 4章で示した南北方向変位量 U_n および東西方向変位量 U_e を図4に示す敷設角度 θ を用いて, 管軸方向変位量 U_x [m]および管軸直角方向変位量 U_y [m]に次式のように変換し, 管路被害との関係を分析する。

$$U_x = U_n \cos \theta + U_e \sin \theta, U_y = U_n \sin \theta - U_e \cos \theta \quad (2)$$

以上より, 式(1)で定義した被害率 R_w と被害率 R_s を式(2)で求める U_x および U_y に対して0.2m刻みで算出した。なお, 変

キーワード 熊本地震, 上水道埋設管路, 下水道埋設管路, 地表断層変位, 被害率, 空中写真

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群 TEL: 029-853-7368

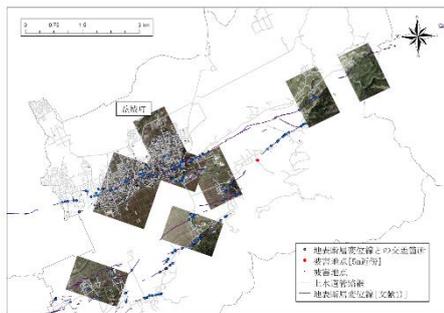


図1 上水道埋設管路と空中写真

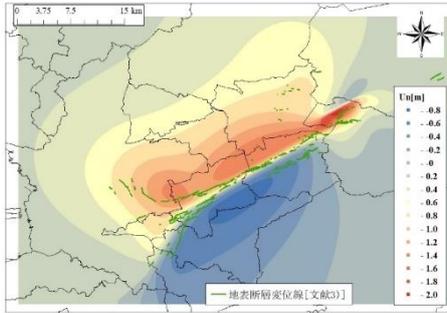


図3 推定地表変位量(文献2)より)

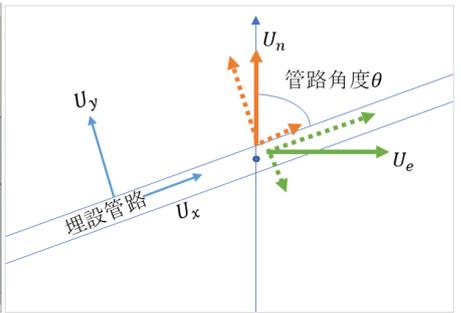


図4 管軸座標系の定義

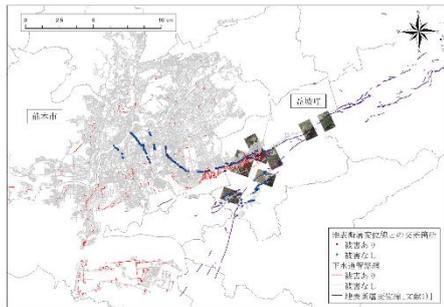


図2 下水道埋設管路と空中写真

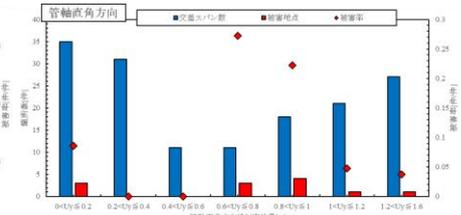
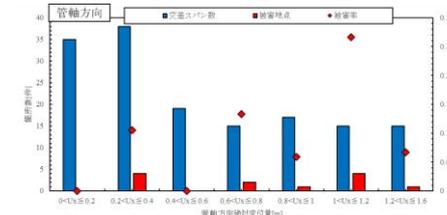


図5 管軸座標系変位量に対する上水道埋設管路の被害傾向

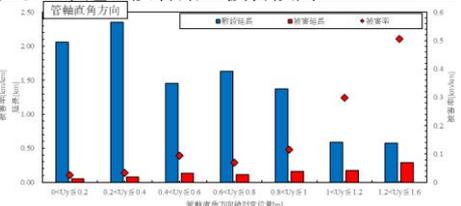
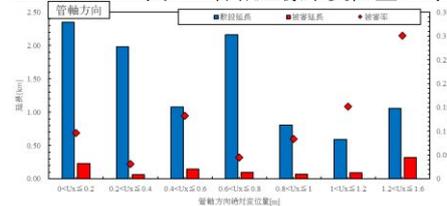


図6 管軸座標系変位量に対する下水道埋設管路の被害傾向

量が 1.2m 以上の区間に関しては、他区間と比較してデータ数が少なくなってしまうため、0.4m 刻みとした。これらの結果を上水道管路については図 5 に、下水道管路については図 6 に示す。上水道管路について、 U_x に対する被害率 R_w は $0.2[m] < U_x \leq 0.4[m]$ で 0.11[件/件]、 $0.6[m] < U_x \leq 0.8[m]$ で 0.13[件/件]の高い値を示し、 $1.0[m] < U_x \leq 1.2[m]$ で 0.27[件/件]と極めて高い値を示した。一方、 $0.8[m] < U_x \leq 1.0[m]$ で 0.059[件/件]、最大の変位量区間 $1.2[m] < U_x \leq 1.6[m]$ で 0.067[件/件]と相対的に低い値をとった。 U_y に対する被害率 R_w は、 $0.6[m] < U_y \leq 0.8[m]$ で 0.27[件/件]、 $0.8[m] < U_y \leq 1.0[m]$ で 0.22[件/件]と極めて高い値を示し、最小の変位量区間 $0[m] < U_y \leq 0.2[m]$ においても 0.086[件/件]と相対的に高くなった。 $0.2[m] < U_y \leq 0.6[m]$ で被害がなく、 $1.0[m] < U_y \leq 1.2[m]$ と $1.2[m] < U_y \leq 1.6[m]$ の大きい変位量で 0.050[件/件]付近の相対的に低い被害率 R_w を示した。これより、上水道管路においては $0.60[m]$ 以上の U_x および U_y において地表断層変位による被害が顕在化する傾向が明らかとなった。下水道管路について、 U_x に対する被害率 R_s は、 $0.8[m] < U_x \leq 1.0[m]$ で 0.084[km/km]、 $1.0[m] < U_x \leq 1.2[m]$ で 0.15[km/km]、 $1.2[m] < U_x \leq 1.6[m]$ で 0.30[km/km]と変位量の上昇とともに高くなる。また、 $0[m] < U_x \leq 0.2[m]$ で 0.097[km/km]、 $0.6[m] < U_x \leq 0.8[m]$ で 0.13[km/km]の高い値を示し、この要因については今後の分析の課題である。 U_y に対する被害率 R_s は、 $0.8[m] < U_y \leq 1.0[m]$ で 0.12[km/km]、 $1.0[m] < U_y \leq 1.2[m]$ で 0.30[km/km]と極めて高い値をとり、最終的に $1.2[m] < U_y \leq 1.6[m]$ で交差スパンの半数以上が被災したことを意味する 0.51[km/km]を示した。以上のように、 $0.6[m]$ 以上の U_x および U_y によって被害が顕在化し、最大変位量区間ではそれぞれ 0.30[km/km]と 0.51[km/km]の極めて高い被害率を示す。

6. まとめ: 上水道管路においては、 $0.60[m]$ 以上の U_x および U_y により 0.20[件/件]を超える被害率が示されるとともに、 $0.2[m] < U_x \leq 0.4[m]$ や $0[m] < U_y \leq 0.2[m]$ の小さい変位量であっても断層と交差する管路の 1 割程度が被災する可能性がある。下水道管路においては、 U_x では $1.2m$ 、 U_y では $1.0[m]$ を超えると被害率 R_s は 0.30[km/km] を超え、甚大な被害が発生する可能性が示唆された。 $1.2[m] < U_y \leq 1.6[m]$ において被害率 R_s が 0.51[km/km] となり、地表断層変位線と交差した管路の半数以上が被災するという厳しい結果を示し、以上の被害傾向は条件付確率の近似として解釈可能である。
謝辞: 熊本市及び熊本県益城町の上水道ならびに下水道埋設管路データは、熊本県土木部土木技術管理課及び熊本市上下水道局からご提供賜りました。産業技術総合研究所の吉見雅行氏には熊本地震における地表断層変位データを提供いただくとともに、土木学会地震工学委員会・断層変位を受ける地中管路の設計手法に関する研究小委員会(委員長: 清野純史・京都大学教授)の皆様方にはデータ分析の切り口や Okada の式の適用方法などに関して貴重な御助言を多々賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献: 1) Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y., Maruyama, T., Azuma, T., Miyashita, Y., Mori, H., Imanishi, K., Takeda, N., Ochi, T., Otsubo, M., Asahina, D., and Miyakawa, A.: Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space* Vol.68, No.191, DOI 10.1186/s40623-016-0559-1, 2016. 2) 畠山大治, 庄司学, 永田茂, 吉見雅行: 2016年熊本地震における下水道埋設管路の地表断層変位による被災メカニズムの考察, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.76, No.4(地震工学論文集第39巻), pp. I 441-I 453, 2020. 3) 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. 4) 国土地理院: 平成 28 年熊本地震の震源断層モデル(暫定), <https://www.gsi.go.jp/common/000140781.pdf>(2021年3月1日閲覧)