

2016年熊本地震における熊本市上水道施設管路の被害分析

Investigation on Damage of Water Distribution Pipelines of Kumamoto City during the 2016 Kumamoto Earthquake

片桐 信¹ 摂南大学理工学部都市環境工学科
大西裕也 清田軌道工業株式会社
KATAGIRI, Shin Department of Civil and Environmental Engineering,
Faculty of Science and Engineering, Setsunan University
OONISHI, Yuuya Kiyota Railway Engineering Co., Ltd.

Abstract

In this paper the damage of water distribution pipelines of Kumamoto city during the 2016 Kumamoto earthquake is investigated. The authors could have an opportunity to review the repair ledger of 240 pipeline's damage locations. And they plotted the damage locations on the ground condition map exposed by the Geographical Survey Institute. From review of pipeline's damage photographs, the main mode of damages was considered to be pulled out of pipe joints regardless of pipeline's materials. Also, from the distribution of pipeline's damage, three damage concentration areas were found. In these areas the surface ground is covered with soft soil, and traces of soil liquefaction were also found. In the Guidelines for Seismic Design Method of Water Supply Facilities 2009 published by the Japan Water Works Association, ground strain apply to buried pipelines were amplified in soft ground areas such as flood plains, back swamps, bottom plains and alluvial fans et.al. In the liquefaction areas, the ground strain is set to be higher taking account of permanent ground deformations. Therefore, the pipeline's damage features obtained from this investigation considered to match the current seismic design guideline.

キーワード: 熊本地震, 上水道施設管路, 被害分析, 地盤条件, 液状化

Keywords : Kumamoto earthquake, water distribution pipelines, damage investigation, ground condition, liquefaction

¹【原稿受付】2017年7月29日, 【掲載決定】2017年9月15日

¹【主著者連絡先】片桐 信 摂南大学, 教授 e-mail: shin-k@civ.setsunan.ac.jp
〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8, 摂南大学理工学部都市環境工学科

1. はじめに

著者らは、2016年7月22日に、その時点での熊本市上下水道局に収集されている約240件の管路修繕台帳を、全て写真データとして保存する機会を得た。そこで、本研究では管路修繕台帳の写真データから被害の住所、管種、継手種、被害モードのデータのエクセルファイルを作成し、これをもとに地理院地図を利用して、熊本地震における熊本市の水道管被害と微地形区分および液状化噴砂箇所を照らし合わせて、その関連性を分析した。なお、修繕件数はその後も増加している。

1-1 熊本地震の概要

2016年4月14日21時26分に熊本地方に深さ11km、M6.5(最大震度7)の地震が発生した。また、2日後の4月16日01時25分に、前回の震央付近で深さ12km、M7.3(最大震度7)の地震が発生した。

4月14日以降、熊本県熊本地方、阿蘇地方、大分県中部等にかけての広い範囲で地震活動が活発となっており、4月15日00時03分のM6.4(最大震度6強)、4月16日03時55分のM5.8(最大震度6強)などを含め、4月30日までに最大震度5弱以上を観測した地震が18回発生している。

前震の震央の位置は緯度32°44.5'N、経度130°48.5'Eであった⁽¹⁾。また、本震の震央の位置は、緯度32°45.2'N、経度130°45.7'Eであった⁽¹⁾。

今回の一連の地震活動領域には、布田川断層帯、日奈久断層帯、別府-万年山断層帯が存在している。地震調査研究推進本部地震調査委員会によると、4月14日の地震は、日奈久断層帯の高野-白旗区間の活動によると考えられる。4月16日の地震は、現地調査によると、布田川断層帯の布田川区間沿いなどで地表地震断層が見つかったことから、主に布田川断層帯の布田川区間の活動によると考えられると評価されている。

被害概要⁽²⁾は、人的被害(死亡161名、重傷1,087名、軽傷1,605名)、建物被害(全壊8,369棟、半壊32,478棟、一部損傷146,382棟)であった。

1-2 布田川・日奈久断層帯⁽³⁾

(a) 布田川断層帯

図1に示すように、布田川断層帯は、熊本県阿蘇郡南阿蘇村から上益城郡益城町木山付近を経て、宇土半島の先端に至る断層帯である。本断層帯は、概ね東北東-西南西方向に延び、全体の長さは約64km以上の可能性がある。断層線の分布等から、阿蘇村から木山付近に位置する長さ約19kmと推定される布田川区間、木山付近から宇土市中心部に位置する長さ約20kmの可能性がある宇土区間および宇土市住吉町から宇土半島北岸に沿って宇土半島先端に至る長さ約27km以上の可能性がある宇土半島北岸区間からなる。

(b) 日奈久断層帯

図1に示すように、日奈久断層帯は、上益城郡益城町木山付近から葦北郡芦北町を経て、八代海南部に至る断層帯である。本断層帯は、概ね北東-南西方向に延び、全体の長さは約81kmである可能性がある。

日奈久断層帯は過去の活動時期から、益城町木山付近から宇城市豊野町山崎付近まで延びる長さ約 16km の高野－白旗区間、宇城市豊野町山崎から芦北町の御立岬付近に分布する長さ約 40km の日奈久区間及び御立岬付近から八代海南部に位置する長さ約 30km の可能性がある八代海区間に区分される。

1-3 熊本市水道の概要と地質の特徴

熊本市は、人口：739,991 人、面積：390.32km²、給水区域面積：323.49km²、給水区域内人口：738,561 人、給水人口：699,339 人、給水普及率：94.7%の大都市である。熊本地域の地質の特徴としては、図 2 に示すように、先阿蘇火山岩類を基盤として、その上に阿蘇火山の 4 度の噴火によって堆積した火砕流堆積物（約 30 万年前～約 9 万年前の噴火による堆積物）により形成されている⁽⁵⁾。その火砕流堆積層が、多孔質で割れ目が多く、浸透性が高い砥川溶岩層が分布しており、砥川溶岩層を含むこの第 2 帯水層が、水源井戸の取水対象層である。地下水の流れとして、菊池台地、阿蘇西麓、高遊原台地から白川中流域へ流れ、そこで一旦地下水が貯まる。その後、坪井川や託麻台地等へ流れ、熊本平野を通り有明海へ流れる⁽⁵⁾。



図 1 布田川・日奈久断層帯分布図⁽³⁾



図 2 熊本地域の地下水の流れ⁽⁴⁾

2. 上水道施設管路の被害箇所の分布

2-1 全管種の被害分布

約 240 箇所(管種を全て合わせて)をプロットしたものが図 3 である。図より概ね 3 か所の被害集中域が存在することが分かる。なお、被害地点を赤丸で記しているが、近い住所の被害があると赤丸が重なるために、色の濃淡となって表示されている。

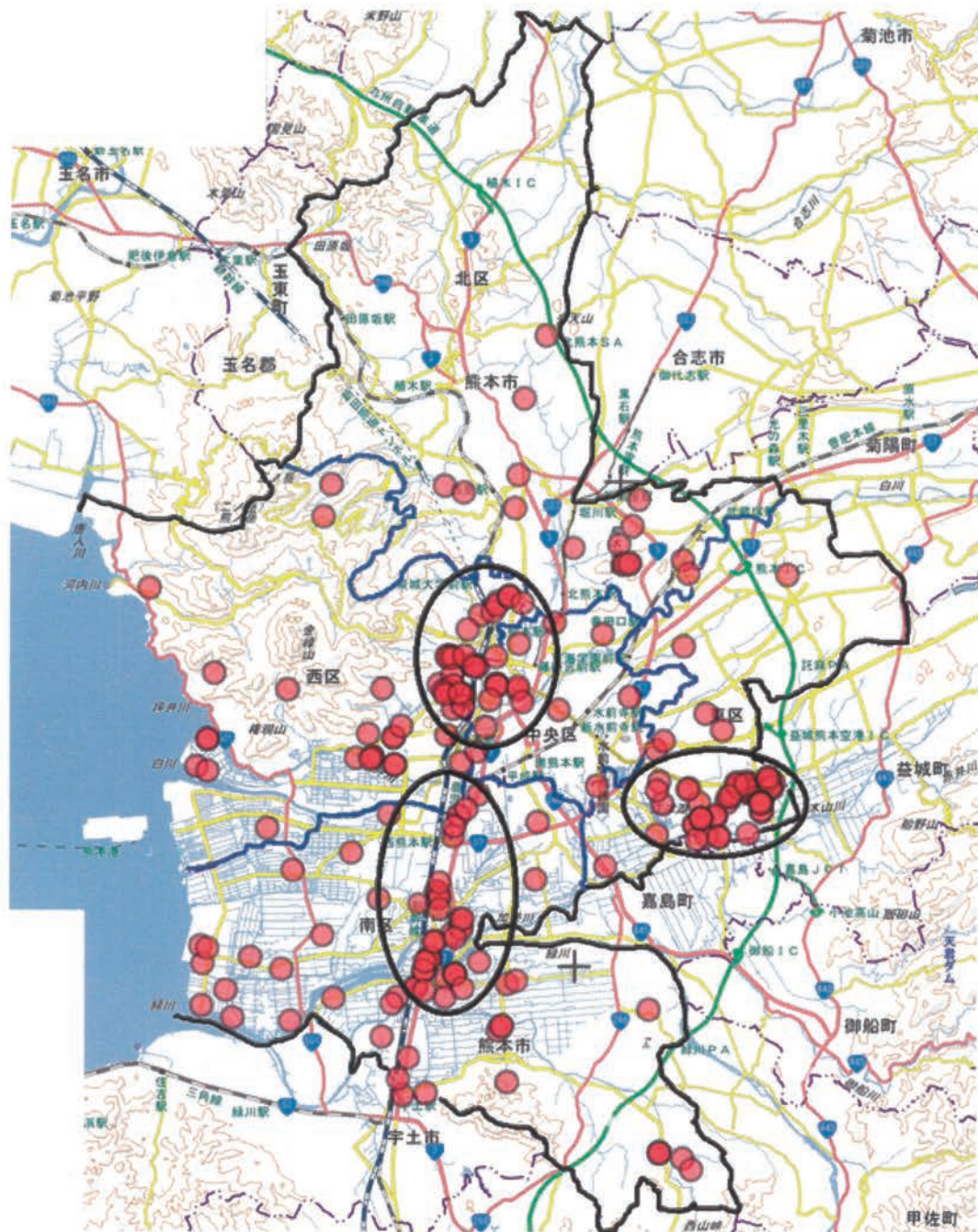


図 3 全管種の被害地点

特に被害が集中しているのは、熊本市東区沼山津地区近辺(地図上で中央から左下)、西区横手地区近辺(地図上の中央部分)および南区近見 - 川尻地区近辺(地図上の中央よりやや下)である。以下の節では、上水道管路として代表的な管種について、被害分布を述べる。

2-2 鋳鉄管 (CIP) の被害

図 4 に、CIP の被害分布を示す。前述した西区横手地区に被害が多く集中しており、東

区沼山津地区や南区近見 - 川尻地区にも被害が発生している。

CIPは、現在では製造されていない老朽化管種であり、管本体が脆性的に破壊する傾向にある。被害例を図5に示す。その継手構造も、耐震性能を全く考慮しない構造であり、地震時には脆弱で、管路耐震化の観点から更新対象となっている管種である。こうした管種が現状でも管路網の基幹部分に存在することが、都市施設としての上水道全体システムの脆弱性につながっている。

2-3 ダクティル鋳鉄管（DIP）の被害

DIPの被害箇所は、図7に示すように、東区の沼山津地区に集中していることが読み取れる。また、坪井川や白川等の河口付近でも被害が発生している。DIPは、地盤条件の良いところでは被害が生じないとされている。口述するように、これらの被害箇所は液状化との関連性がある。また、DIPには耐震継手があるが、今回の地震でも被害は生じていない。

2-4 鋼管（SP）の被害

図8に示すように、SP（溶接継手鋼管、ネジ継手鋼管）の被害は、熊本市内全域に及んでいる。ネジ継手鋼管については、ネジ部の脆弱性から中低圧ガス導管において、更新対象となっている管種である。基本的な構造は水道用も同様であるので、これらに多くの被害が出る事は容易に推察される。耐震性能の高い新しい管種への更新がシステム全体の耐震性を高めるために重要である。被害例を図6に示す。

一方、溶接鋼管については、専門の施工業者による溶接作業がなされており、一定の耐震性を有すると考えられてきた。



図4 CIPの被害地点



図5 CIPの被害例



図6 SPネジ継手の被害例

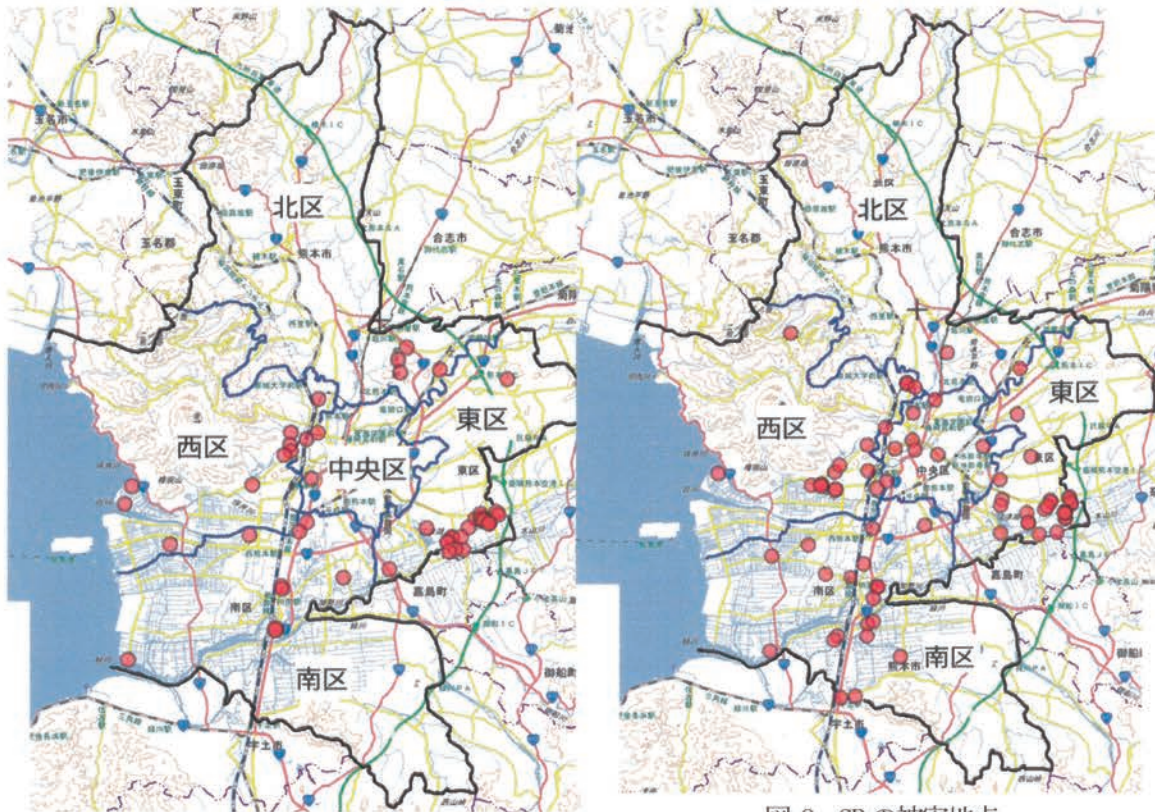


図 7 DIP の被害地点

図 8 SP の被害地点

しかしながら、被害写真を見ると、溶接部が管軸方向に引張を受けて破断している個所が見受けられた。同様の被害は、2011年東北地方太平洋沖地震⁽⁶⁾でも生じており、溶接鋼管の耐震性能に関して、今後より詳しい検討が必要であると考えられる。

3. 管路被害データの分析

熊本市における管種、口径、継手別の布設延長を表 1、図 9 に示す。熊本市内の管種の使用割合は DIP が 73% と全体延長の約 3/4 分をも占めていることが分かる。口径が大きい管には、硬質塩化ビニル管 (VP) およびポリエチレン管 (PE) が使用されていない。VP には、耐震性の低い接着結合継手 (TS) 管路が多く含まれており、耐震化の観点での更新対象管種である。PE は 1995 年兵庫県南部地震において、ガス用 PE 管に被害が無かったことから、その後水道配水用 (口径 50 mm 以上) としても開発された管種である。

図 9 から分かるように、熊本市においては耐震継手を有する DIP (耐震) の布設割合が 17% と高い。このことは、水道管路全体の地震時被害率を減少させる。

しかし、図 10 に示すように、地震時に脆弱な VP (TS 継手)、CIP、SP (ネジ継手) が残存しており、被害の主要因となっている。また、DIP の一般継手 (A 形、K 形等) にも被害が出ていることから、被害地点と地盤条件に関連性があるものと考えられる。なお、本図中のデータなしとは、修繕台帳に明確な管種が記されていない属具などの被害を示している。

表 1 管種・口径別布設延長

単位:m

口径	全体延長	铸铁管	ダクタイル铸铁管		鋼管		塩ビ管	ポリエチレン管	その他
			耐震継手	その他	溶接継手	その他			
φ 50以下	426,676	0	6	130	555	105,941	166,958	125,313	27,773
φ 65-75	700,314	8,280	110,795	418,010	4,815	5,926	128,011	4,928	19,609
φ 80-100	957,623	19,847	166,538	648,988	3,543	3,459	100,908	4,854	9,486
φ 125-150	650,200	14,166	142,626	452,944	5,801	702	28,871	2,402	2,688
φ 200	227,893	9,272	42,650	168,221	6,593	3	0	857	297
φ 250	72,246	5,637	1,383	55,500	9,726	0	0	0	0
φ 300	104,139	4,199	40,013	55,852	3,761	0	0	0	314
φ 350	21,660	5,438	1,127	11,131	3,935	0	0	0	29
φ 400	52,991	9,531	22,188	16,594	4,511	0	0	0	167
φ 450	5,390	1,372	28	3,135	768	0	0	0	77
φ 500	52,346	4,129	25,379	16,210	6,548	0	0	0	80
φ 550	576	576	0	0	0	0	0	0	0
φ 600	37,480	7,350	12,832	12,427	4,607	0	0	0	264
φ 675	2,570	2,570	0	0	0	0	0	0	0
φ 700	20,614	899	539	13,570	5,606	0	0	0	0
φ 800	21,073	0	6,309	7,289	7,475	0	0	0	0
φ 900	4,794	0	2,850	214	1,727	0	0	0	6
φ 1000	284	0	0	0	284	0	0	0	0
φ 1100	321	0	0	0	321	0	0	0	0
φ 1200	213	0	27	0	188	0	0	0	0
φ 1350	6,835	0	2,232	2,404	2,199	0	0	0	0
φ 1500	42	0	0	0	72	0	0	0	0
合計	3,336,343	93,266	577,532	1,882,619	73,003	116,031	424,748	138,354	60,790

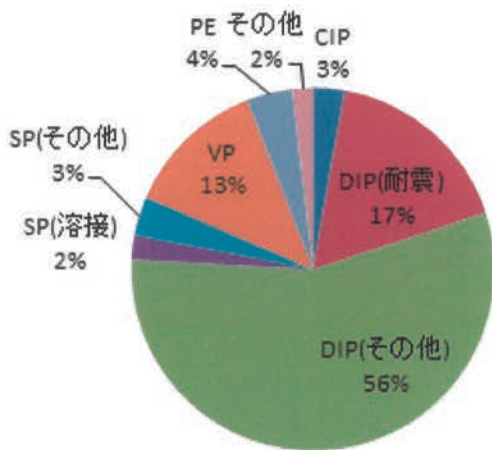


図 9 管種別布設割合

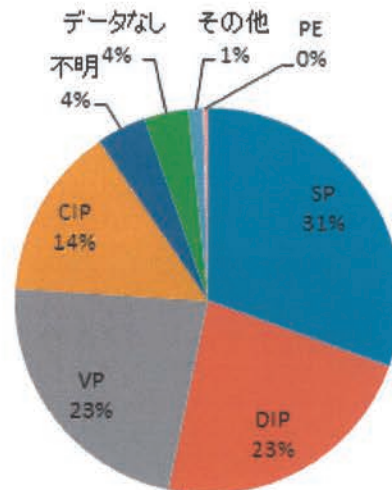


図 10 管種別被害件数割合

管種別に被害件数を布設延長で除したものが、表 2 に示す被害率のデータである。被害率が概ね 0.1 件/km を超えると被害が多いと判断される。CIP、SP の被害率が高く、次いで VP の順である。布設延長の長い DIP は被害率が低く、地盤条件の良いところでは耐震性

能があるという現在の評価と一致している。

耐震性能の高いPEに1個所の被害が生じている。PEには口径φ50mm以下の給水用二層PE管（金属継手）と口径φ50mm以上の水道配水用PE管（電気融着[EF]継手）の2種類のデータが混在しているが、被害があったのは給水用PE・口径φ25mmの金属継手部からの漏水であり、管本体やEF継手部には被害が生じていない。

表 2 管種別被害率

管種	件数	管路延長 (m)	被害率 (件/km)
CIP	35	93,266	0.375
DIP	55	2,460,151	0.022
VP	55	424,478	0.130
PE	1	138,354	0.007
SP	74	189,034	0.391
その他	22	60,790	0.362

4. 管路被害と地盤条件の関連性

4-1 全体管路被害と地盤条件の対応関係

図 3 に示した、熊本市内の全管種の被害分布と、国土地理院の熊本市地盤条件図および液状化箇所（噴砂・噴水跡）とを比較することで、被害の多い地域の地盤条件について分析をおこなった。地盤条件と被害箇所の合成を図 11 に示す。図中の黒いプロットが液状化痕跡である。また、本図の凡例を図 12 に示す。

図から分かることは、後背湿地や扇状地、谷底平野（氾濫平野）など地盤が軟弱な場所に被害が集中していることである。また、東区沼山津地区や南区近見・川尻地区では、水道被害と液状化地点が一致している。また、線状に連なる液状化痕跡（噴砂噴水箇所）と被害位置が一致していることが読み取れる。

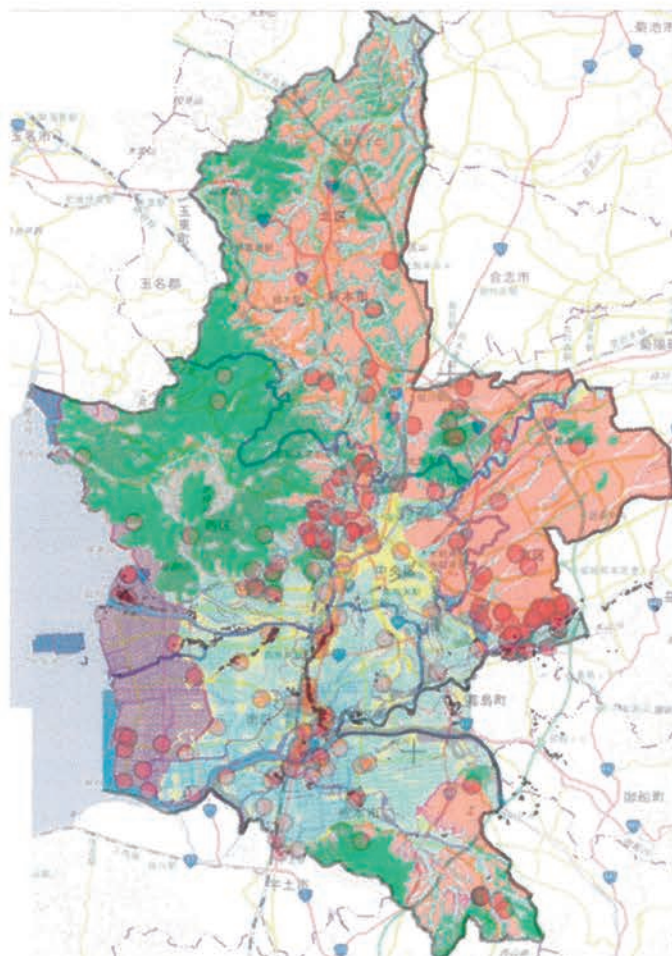


図 11 被害分布図と地盤条件の合成図

4-2 東区沼山津地区付近の液状化分布

東区沼山津地区の被害と液状化痕跡とを比較すると、被害箇所が重なると予想された。図 13 は、水道管路被害と液状化痕跡を合成した図である。数箇所水道被害と液状化被害が重なっている。しかし、液状化痕跡と離れた位置にも被害が発生してい

る。これらの地域は、液状化を生じるほどに軟弱な地盤であることが予想され、地震時の地盤ひずみの増幅が生じたことが予測される。また、当該エリアは、益城町に現れた断層線と連なる位置であるとの指摘もあり、断層変位に誘発された地盤変状が生じた可能性もある。

4-3 南区近見 - 川尻地区付近の液状化分布

この南区近見 - 川尻地区付近の水道被害には大きな特徴がある。

図 14 は、水道管路被害と液状化痕跡を合成した図である。液状化痕跡が帯状に連なって発生している。このような液状化が発生する地盤は、旧河道である可能性が高い。4-2節、

4-3 節の分析から明らかなように、地盤の液状化が管路施設被害の主要因の一つであることは明確である。今後液状化地域においては優先的に管路耐震化をすすめるべきであると考える。

5. おわりに

本研究により得られた知見を以下に要約する。

- ① 熊本市内全域に被害が分布しているが、3箇所の被害集中域が見られた。
- ② 熊本市内の水道被害は、自然堤防や谷底平野(氾濫平野)、後背湿地等の軟弱地盤で多く発生している。
- ③ 液状化している箇所付近では水道管被害も多く発生しており、液状化が水道管路の被害要因であることがあらためて確認された。

地理院地図 表示用凡例

配色	分類項目	説明	配色
	山地斜面等	山地・丘陵などの傾斜地	
	崖	自然にできた急斜面	
	地すべり(滑落崖)	地すべりの上部に出来た崖	
	地すべり	山体の一部が土塊として移動した地形	
	更新世段丘	約1万年以前に出来た台地	
	完新世段丘	約1万年前から現在までに出来た台地	
	台地・段丘	溶岩により形成された台地や時代区分が明瞭でないもの	
	山麓堆積地形	山麓部に堆積した岩屑等で出来ている地形	
	扇状地	山麓部に堆積した砂礫等で出来た扇状の地形	
	自然堤防	河川の氾濫により運ばれた砂等が、堆積して出来た微高地	
	砂州・砂堆・砂丘	波浪、沿岸流、風によって運ばれた砂からなる小丘	
	天井川・天井川沿いの微高地	周囲の土地より川床が高い河川。その周辺の微高地	
	凹地・浅い谷	台地・段丘などに細水流や地下水の働きによって出来た低い所	
	谷底平野・氾濫平野	河川の氾濫により形成された平坦地	
	海岸平野・三角州	過去の海底が陸化した平坦地、河口部にあつて粘土等からなる平地	
	後背低地	自然堤防などの背後にある相対的に低い箇所。低湿地。	
	旧河道	河川流路の跡	
	高水敷・低水敷・浜	河川の増水時に水没する部分。高波で冠水する沿岸の岩場等。	
	湿地	常に土地が湿っているところ	
	河川・水涯線及び水面	海・河川・湖沼など、現在の水面	
	旧水部	海、池、湖沼などを埋め立てた箇所、現在は陸地。	
	農耕平坦化地	山地などを切り開いた農耕地。	
	切土地	山地などを切り開いた平地。	
	高い盛土地	高潮、洪水などの防禦のため高く盛土した土地	
	盛土地・埋立地	土を盛って造成された、平地及び斜面	
	干拓地	水部を干して陸地化した土地	
	改変工事中の区域	調査時に、土地の改変工事が行われていた土地	

図 12 国土地理院熊本市地盤条件図凡例

- ④ SPやCIPは管種の中でも被害が多い。
- ⑤ SPは溶接継手，ネジ継手とも引き抜かれる方向での割れ被害である。
- ⑥ CIPには，古い印籠継手やA形継手が多く残っており，被害の主要因である。
- ⑦ 良い地盤では被害がないとされているK形のDIPは液状化地盤を除いては被害が生じていない。

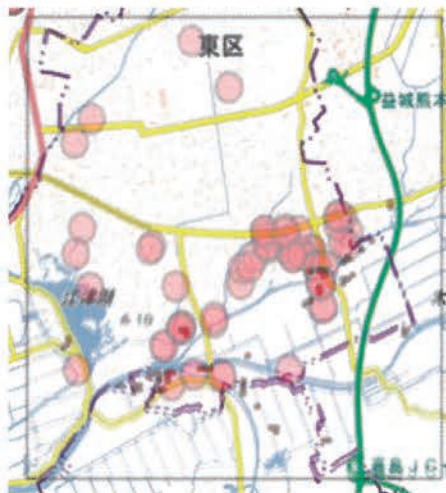


図 13 東区沼山地区の被害と液状化痕跡の関係

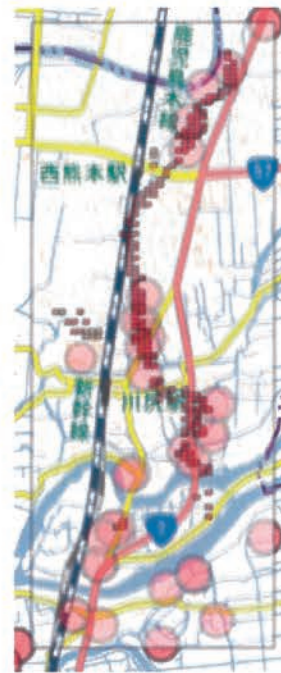


図 14 南区近見-川尻地区の被害と液状化痕跡の関係

これらを踏まえると，液状化地盤，軟弱地盤での被害が多く，これら地域に敷設されている管路の耐震化が急務である。また，被害のほとんどが継手部での緩みや離脱，管体破断といった，管軸方向引張を受ける被害である。このことから，現在耐震管とされているS形，NS形DIPやPE管は良好な耐震性を発揮したものと考えられる。

謝辞

データ収集にあたっては，前熊本市上下水道局・部長：中島 博文様から多大なご支援を頂きました。ここに記して，衷心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 気象庁：URL <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>，2016.12 閲覧
- (2) 内閣府：熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について，URL http://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/pdf/h280414jishin_37.pdf，2016.12 閲覧
- (3) 地震調査研究推進本部：URL http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/katsudanso/f093_futagawa_hinagu.htm，2016.12 閲覧
- (4) 熊本市上下水道局：URL http://www.kumamoto-waterworks.jp/?waterworks_article=1087，2016.12 閲覧
- (5) 熊本市上下水道局：平成 28 年熊本地震 水道施設被害等現地調査被害報告資料，「(2016)」
- (6) 鍛田泰子，片桐 信：土木学会東日本大震災被害調査団 緊急地震被害調査報告書，第 10 章 水道施設の被害，「(2011)」