

新潟県中越沖地震における ライフライン被害の空間相関性の分析

君島 康太¹・丸山 喜久²・山崎 文雄³

- ¹千葉大学大学院生 工学研究科建築・都市科学専攻（〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33）
E-mail: k.kimishima@gmail.com
- ²千葉大学大学院助教 工学研究科建築・都市科学専攻（〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33）
E-mail: ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp
- ³千葉大学大学院教授 工学研究科建築・都市科学専攻（〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33）
E-mail: yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

首都圏にはライフラインをはじめとする重要な社会基盤施設や社会機能が高密度に集中しており、首都直下地震が発生した際は、被害の連鎖的波及により都市機能が長期間マヒしてしまうことが考えられる。そのため、防災、減災対策の必要性は高く、都市機能の防御戦略、早期復旧計画を立てることが有用であると考えられる。そこで本研究では、首都直下地震を対象としたライフライン施設の復旧シミュレーションに向けた基礎資料の構築を目的として、2007年新潟県中越沖地震におけるライフライン被害がどのような条件下で発生しているかを整理し、ライフライン被害の空間的相関性を把握する。

Key Words : earthquake damage, lifeline system, GIS, damage ratio, spatial distribution

1. はじめに

地震調査研究推進本部によると、首都圏でマグニチュード 6.7～7.2 クラスの地震が今後 30 年以内に発生する確率は、約 70%とされている¹⁾。また、中央防災会議によると、東京湾北部地震が発生した場合、直接被害、間接被害を合わせ約 112 兆円の経済被害になると推定されている²⁾。その中でライフライン被害に焦点をあてると、経済損失額は約 11.4 兆円、ライフライン施設被害による供給支障は電力約 160 万件、通信約 110 万回線、ガス約 120 万件、上水道約 1100 万人に上る。これらの数字から、首都直下地震が発生した際のライフライン被害が重大であることが認識できる。

首都圏には、ライフラインをはじめとする重要な社会インフラが集中している。そのため、首都直下地震が発生した際は、とくにライフラインは各システムがそれぞれ密接に関わっているため³⁾、被害の連鎖的波及により都市機能が長期間マヒしてしまうことが考えられる。これらの被害軽減のために、ライフライン被害の相関性を解明し、それをもとに都市機能の防御戦略、早期復旧計画を立てることが有用であると考えられる。

そこで、本研究では、首都直下地震を対象とした

ライフライン施設の復旧シミュレーションに向けた基礎資料の構築を目的とし、新潟県柏崎市と刈羽村を対象地域として、2007年新潟県中越沖地震によるライフライン被害の空間相関性の分析を行う。

2. 各種被害データの統合GIS化

ライフライン被害の空間相関性の分析を行うにあたり、配水管、ガス低圧管、ガス中圧管、下水道、倒壊家屋、液状化の被害データ及び、配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の管路データの統合GIS化を行った。使用した被害データ、管路データの緒元を表-1、表-2に示す。各種データの統合GIS化には、基本ソフトにESRI社のArcGIS ver.9.2、基本地図に国土地理院が発行する数値地図25000(ダウンロード版)を使用した。測地系は、使用データに定義されている測地系が日本測地系と世界測地系が混在していたため、世界測地系で統一した。また、本研究ではGIS上での単位をメートル法で表すために、使用したデータに投影座標系の平面直角座標8系を定義した。各種データの統合GIS化したものを図-1に示す。

本研究で使用した配水管、ガス低圧管、ガス中圧

表-1 新潟県中越沖地震における各種被害データ

	被害	属性
配水管	524箇所	住所、管種、口径、漏水原因
ガス低圧管	158箇所	管種、本支
ガス中圧管	26箇所	経産省委員会報告書(2008)記載
下水道	1185区間	-
液状化	被害延長65.1km	-
倒壊家屋	55箇所	-
	210棟	-

表-2 柏崎市におけるライフライン管路データ

	管路延長 km	属性
配水管	852.6	管路区分、材質、口径、継手種別、埋設年度、竣工図番号、浅層埋設管フラグ
ガス低圧管	653.2	運用圧力、材質、口径、継手種別、埋設年度、竣工図番号、浅層埋設管フラグ
ガス中圧管	135.3	運用圧力、材質、口径、継手種別、埋設年度、竣工図番号、浅層埋設管フラグ

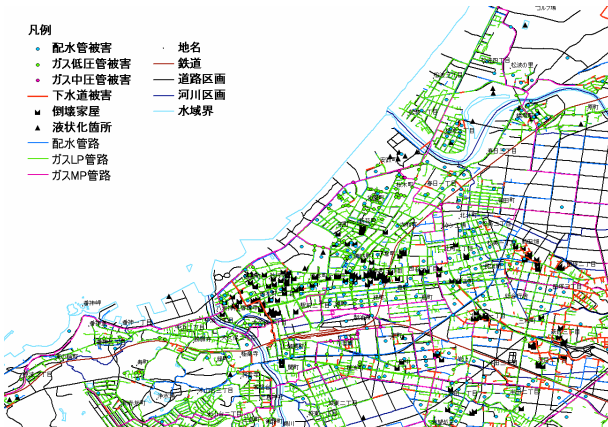


図-1 柏崎市における各種データの統合 GIS

管、下水道の被害データは社団法人日本ガス協会が取りまとめたものを、また、配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の管路データは、柏崎市ガス水道局が敷設状況を取りまとめたものを使用した。なお、対象地域を柏崎市と刈羽村としているが、柏崎市の旧高柳町地域は、被害データが無かったため対象地域から除外した。

3. ライフライン被害の空間相関性

(1) 各種条件とライフライン被害分布

ライフライン被害がどのような条件下で発生しているか分析するために、統合GISに各種条件データを重ね合わせ、空間検索機能を用いて条件別に各ライフラインの被害率を算出した。配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の被害率(件/km)は被害件数(件)/管路延長(km)、下水道の被害率(%)は被害区長(km)/管路延長(km)で算出した。ただし、下水道は管路データが未だ入手できていないため、下水道管路総延長(710km)と配水管路データを用いて、管路長を推定した。推定方法は、下水道総延長と配水管路総延長の比を、条件ごとの配水管路長に乗じて、下水道長を算出した。

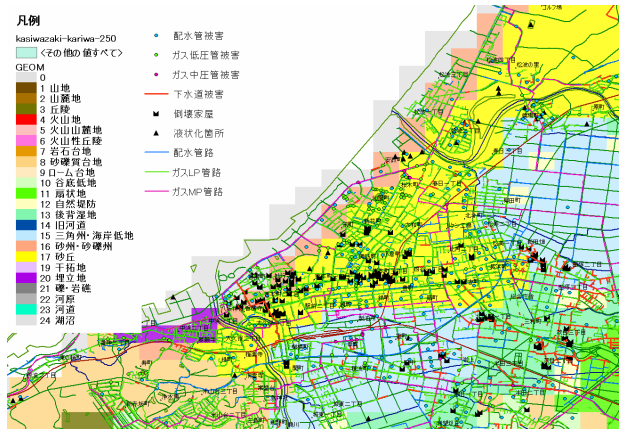


図-2 柏崎市における微地形区分とライフライン被害分布

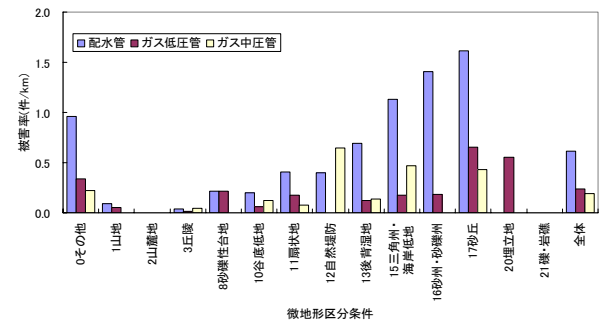


図-3 微地形区分ごとの配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の被害率

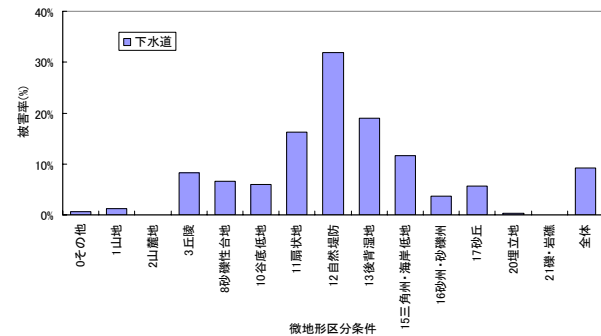


図-4 微地形区分ごとの下水道の被害率

a) 微地形区分とライフライン被害分布

統合GISに微地形区分を重ね合わせたものを図-2に示す。微地形区分は、若松らが構築した日本の地形・地盤デジタルマップ⁴⁾を用いた。地形・地盤条件は250mメッシュで構成されており、25に分類されている。本研究で対象としている、柏崎市、刈羽村には、山地、山麓地、丘陵、砂礫質台地、谷底低地、扇状地、自然堤防、後背湿地、三角州・海岸低地、砂州・砂礫州、砂丘、埋立地、礫・岩礁、その他の14分類が分布している。算出した微地形区分ごとの配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の被害率を図-3、下水道の被害率を図-4に示す。

配水管被害率は砂丘の1.62件/kmが最も高く、砂州・砂礫州の1.41件/km、三角州・海岸低地の1.13件/kmの順で高い値が続いた。ガス低圧管被害率は砂丘の0.66件/kmが最も高く、埋立地が次に高い値の

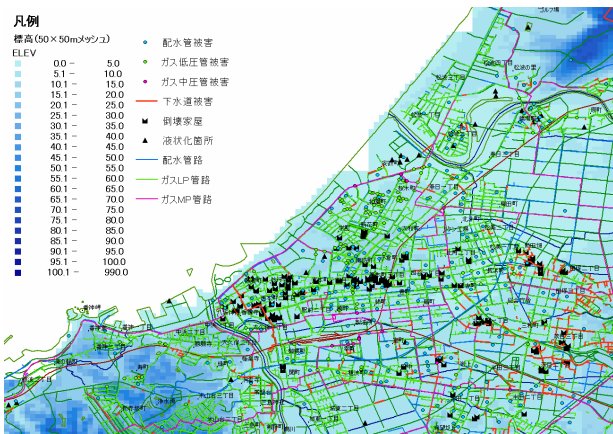


図-5 柏崎市における標高とライフライン被害分布

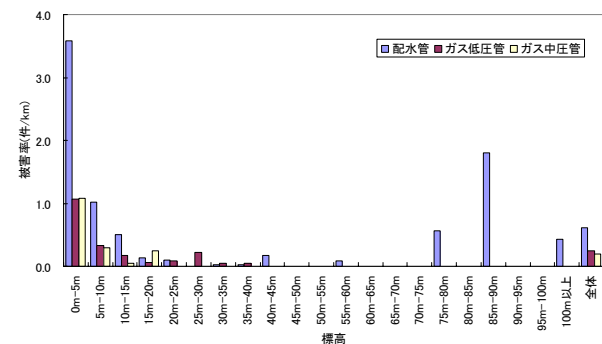


図-6 標高5m区分ごとの配水管，ガス低圧管，ガス中圧管の被害率

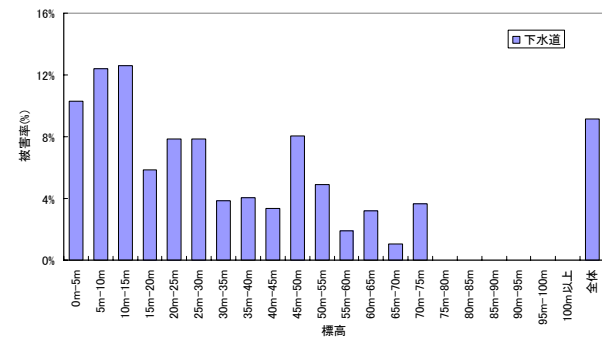


図-7 標高5m区分ごとの下水道の被害率

0.55件/kmを示した。配水管，ガス低圧管は軟弱といわれている微地形区分において被害率が高いことがわかった。ガス中圧管被害率は自然堤防の0.65件/kmで最も高く，三角州・海岸低地の0.47件/km，砂丘の0.43件/kmと高い値が続いた。下水道被害率は自然堤防の32%で最も高く，2番目に高い値である三角州・海岸低地の19%の約1.7倍であった。下水道，ガス中圧管は，良好な微地形区分といわれている自然堤防で被害率が高い値を示していた。

b) 標高とライフライン被害分布

統合GISに標高条件を重ね合わせたものを図-5に示す。標高データに，国土地理院が発行する数値地図50mメッシュ(標高)を用いた。算出した標高5m区分ごとの配水管，ガス低圧管，ガス中圧管の被害率を図-6，下水道の被害率を図-7に示す。

配水管被害率は3.59件/km，ガス低圧管被害率は

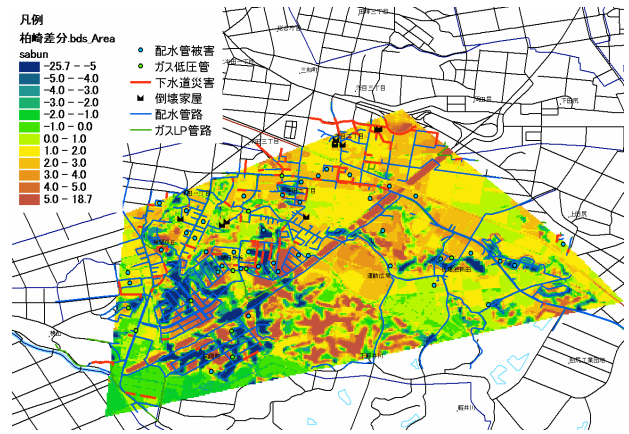


図-8 地盤切盛高さ条件とライフライン被害分布

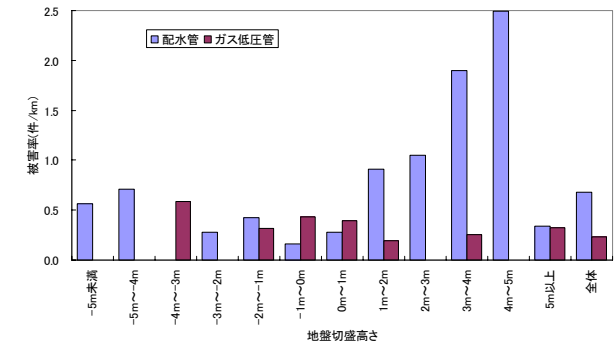


図-9 地盤切盛高さ 1m 区分ごとの配水管，ガス低圧管の被害率

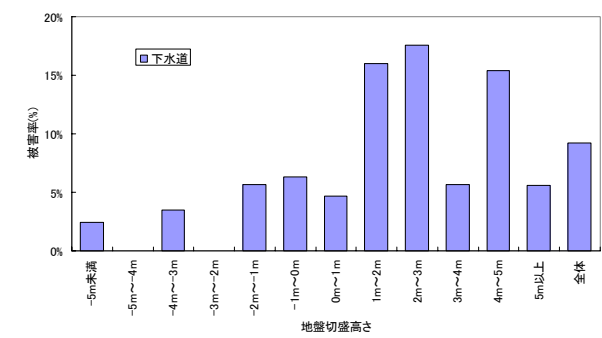


図-10 地盤切盛高さ 1m 区分ごとの下水道の被害率

1.07件/km，ガス中圧管被害率は1.08件/kmと，標高0m-5m区分で最も高い値を示した。下水道被害率は10m-15m区分で13%と最も高いが，5m-10m区分で12%，0m-5m区分で10%と標高が15m以下の地域で高い値を示している。配水管で標高85m-90m区分，75m-80m区分と一部，被害率が特異的に高いが，配水管，ガス低圧管，ガス中圧管は標高が低い位置で被害率が高くなることがわかった。下水道も標高が低い位置で被害率が高いが，標高15m以上の区分でも5%前後の被害率があることがわかった。

c) 地盤切盛高さとライフライン被害分布

統合GISに地盤切盛高さを重ね合わせたものを図-8に示す。地盤切盛高さは，国土地理院から提供を受けた柏崎改変地形データを用いた。柏崎改変地形データは10mメッシュで構成されており，メッシュごとに，盛土高さ，切土高さが与えられている。

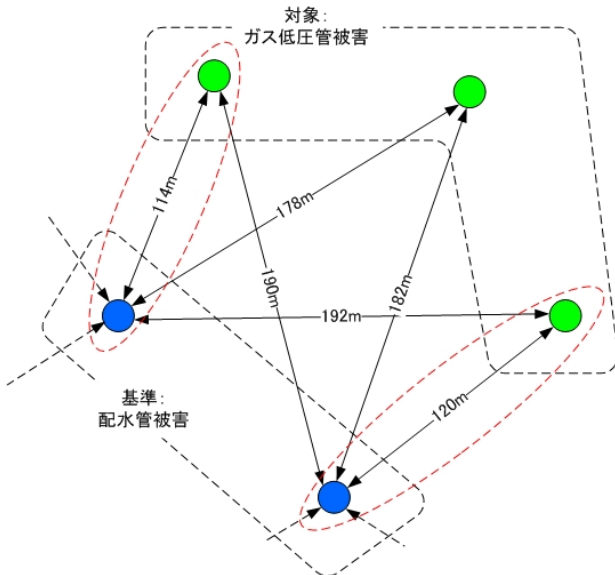


図-11 被害間の最近接距離の概念図

ただし、柏崎改変地形データは、柏崎市の一部地域のみに対し作成されている。そのため、ここでは対象地域を柏崎改変地形データと重なる範囲としている。なお、対象地域内でのガス中圧管被害は1件のため、ここではガス中圧管を分析の対象としていない。

地盤切盛高さ1m区分ごとの配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の被害率を図-9、下水道の被害率を図-10に示す。配水管被害率は4m-5m区分の2.49件/kmで最も高く、3m-4m区分での1.90件/kmが次に高い値であった。また、下水道被害率は2m-3m区分の18%が最も高く、1m-2m区分での16%、4m-5m区分での15%と高い値を示している。配水管と下水道は、盛土部分で被害率が高いことがわかった。一方で、ガス低圧管被害率は-4m-3m区分の0.58件/kmが最も高く、-1m-0m区分の0.43件/kmが続いた。ガス低圧管は、切土部分で、被害率が高いことがわかった。一般に盛土部分は原地盤より軟らかいため、被害率が高くなるのが容易に想像することが出来るが、地面が硬く締まった状態を維持しているはずの切土部分でガス低圧管の被害率が高い値を示しており、今後、詳細な検討が必要である。

(2) 各種被害の空間相関性

被害箇所空間的相互関係⁵⁾を明らかにするために、各種被害間の最近接距離の分析を行った。図-11のように、基準となる被害を決め、基準被害の各発生箇所から対象とする各種被害の各発生箇所間の全ての距離測定を行い、その距離の中で最も短い距離を最近接距離とした。ここでは、対象とする被害を配水管、ガス低圧管、ガス中圧管、下水道のライフラインに加え、液状化、倒壊家屋とした。

ArcGIS上で、ポイント同士間の距離、ポイント、ライン間の距離は測定することが可能であるが、ライン同士間の距離は測定することが出来ない。そのため、ラインデータである下水道同士の組み合わせ

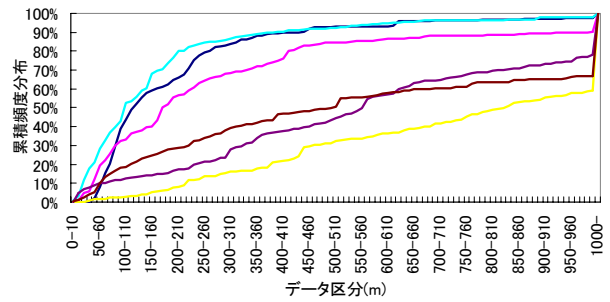


図-12 配水管被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

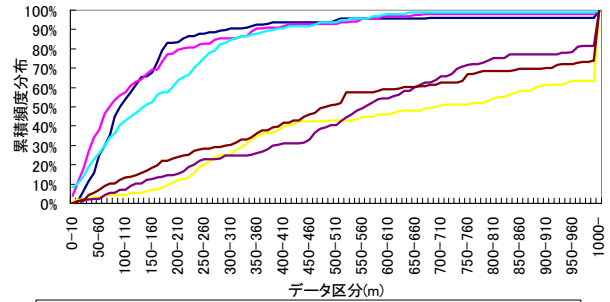


図-13 ガス低圧管被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

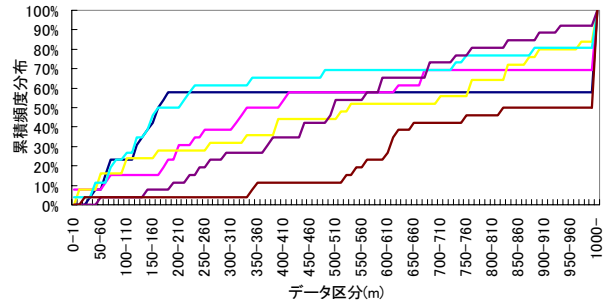


図-14 ガス中圧管被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

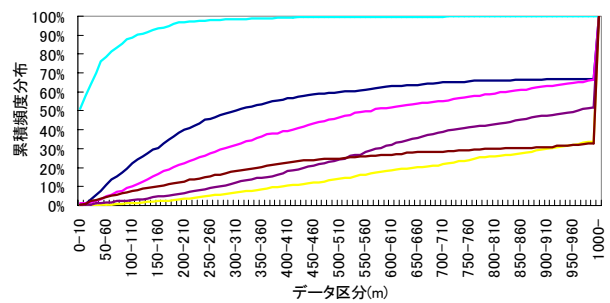


図-15 下水道被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

のときのみ、対象とする下水道被害を、1mピッチでポイントデータへ変換し、近似的に最近接距離を測定した。基準被害を配水管、ガス低圧管、ガス中圧管、下水道、液状化、倒壊家屋に設定し、基準被害ごとに各対象被害までの最近接距離を10m区分で累積頻度分布を描いたものを、図-12～図-17に示す。

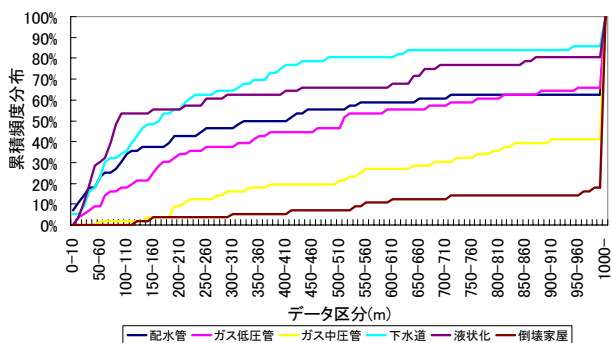


図-16 液状化箇所から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

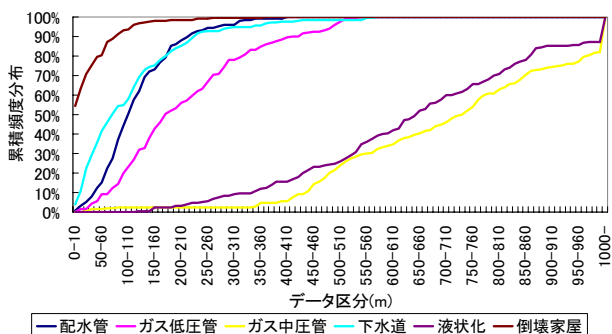


図-17 倒壊家屋から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

表-3 各被害箇所から半径 50m(上段)と 250m(下段)以内に被害が発生している割合(%)

対象	配水管	ガス低圧管	ガス中圧管	下水道	液状化	倒壊家屋
配水管	2.1 77.6	12.2 63.0	1.5 12.2	21.2 83.8	9.0 20.8	5.3 32.8
ガス低圧管	15.6 88.0	34.4 82.2	3.2 19.0	22.8 72.8	2.5 22.2	5.7 27.8
ガス中圧管	7.7 57.7	7.7 34.6	8.0 28.0	11.5 61.5	0.0 19.2	3.8 3.8
下水道	7.7 45.1	3.4 26.4	0.3 4.8	76.0 97.7	1.2 8.6	3.6 14.9
液状化	17.9 44.6	8.9 35.7	0.0 12.5	17.9 62.5	28.6 57.1	0.0 3.6
倒壊家屋	12.4 93.3	5.7 63.3	1.4 2.4	35.7 92.4	0.0 5.2	79.4 99.0

※下段による分類
 100-90% 90-80% 80-70% 70-60% 60-50% 50%-

さらに、これらをまとめたものを、表-3に示す。

表-3 は、上段は各被害箇所から半径 50m 以内に、下段は半径 250m 以内に被害が発生している割合である。半径 50m 及び 250m は、ライフライン施設の復旧シミュレーションを行う際によく用いるメッシュサイズに対応させたものである。

同一ライフライン被害の自己相関性を分析した結果、下水道が最も高く、下水道被害箇所の 97.7%で、半径 250m 以内で別の下水道被害が発生しており、被害発生箇所の自己相関性が高いと考えられる。また、ガス低圧管、配水管被害箇所の 82.2%、77.6%で半径 250m 以内に別の自己被害が発生しており、ガス低圧管、配水管も被害発生箇所の自己相関性が高いと考えられる。

各種ライフライン被害間の相関性を分析した結果、ガス低圧管と配水管の関係が最も高く、ガス低圧管被害箇所の 88.0%が半径 250m 以内に配水管被害が発生しており、被害発生箇所の相関性が高いと考え

られる。また、配水管被害箇所の 83.8%、ガス低圧管被害箇所の 72.8%で半径 250m 以内に下水道被害が発生しており、これらの被害間でも被害発生箇所の相関性が高いと考えられる。とくに柏崎市では、ガス水道局という一つの部署がガスと水道の両方を管理しており、このために両方の管路がごく接近して埋設されている場合が多い。このため、同様の管路被害を同時に受ける可能性が、他の事業者に比べて高いことが予想される。

倒壊家屋とライフライン被害間の相関性を分析した結果、倒壊家屋の 93.3%、92.4%で半径 250m 以内に配水管、下水道被害が発生しており被害発生箇所の相関性が高いと考えられる。また、倒壊家屋の 63.0%で半径 250m 以内にガス低圧管被害が発生しており、被害発生箇所の相関性が比較的高いと考えられる。これらのことから、地震により倒壊した家屋周辺では、倒壊家屋がない地域より、ライフラインの被害箇所が多くなるのが容易に考えられる。もっともこれに関しては、ともに地震動の大きさに比例して被害が大きくなると考えられるため、地震動の大きかった箇所を表わすに過ぎないとの解釈もできる。

また、液状化が発生した地点については、その近傍で下水道被害が発生する確率が最も高くなっている。これは、下水道管路の埋設深さが地下水位以下の場合が多く、液状化による地盤変上の影響を受けやすいと考えることができる。一方、水道管やガス管は埋設深さが浅く、地下水位以上の場合には、液状化の影響を受けにくいとも考えられる。しかし、柏崎市では、水道管やガス管の被害が最も甚大だった松波などの地域において、地盤変状が激しいため、管を残置して被害個所の特定を行っていない。このため、そもそも多数の被害個所がデータに記録されていないことも重要な留意点といえる。

4. まとめ

本研究では 2007 年新潟県中越沖地震におけるライフライン被害の空間相関性の分析を行った。

ライフライン被害の発生条件を整理した結果、配水管は、地形・地盤条件下では砂丘、標高条件下では 0m-5m 区分、地盤切盛高さ条件下では 4m-5m の盛土で被害率が高いことがわかった。同様に、ガス低圧管は、砂丘、0m-5m 区分、3m-4m の切土で、ガス中圧管は、自然堤防、0m-5m 区分で、下水道は、自然堤防、10m-15m 区分、2m-3m の盛土で被害率が高いことがわかった。

各種被害間の空間的相互関係では、下水道、ガス低圧管、配水管は被害発生箇所の自己相関性が高いことがわかった。また、ガス低圧管と配水管、配水管と下水道、ガス低圧管と下水道間で被害発生箇所の相関性が高いことがわかった。さらに、倒壊家屋と配水管、下水道、ガス低圧管間で被害発生箇所の相関性が高いことがわかった。

今後は一部の被害データの精査を行い、再度、各種条件下でのライフラインの被害率の算出、被害箇所空間的位置関係の把握をする予定である。また、ガス中圧管、下水道が自然堤防で被害率が高い原因、ガス低圧管が切土部分で被害率が高い原因を、管種、管径、また埋設条件などを考慮して、詳細に検討する予定である。さらに、これらの検討結果の精度を高めることで、ライフライン施設の復旧シミュレーションの基礎資料として活用することを考えている。

謝辞：本研究で使用した配水管、ガス低圧管、ガス中圧管、下水道の被害データは社団法人日本ガス協会が取りまとめたものを、また、配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の管路データは、柏崎市ガス水道局が敷設状況を取りまとめたものを使用した。倒壊家屋データは国土地理院、液状化データは株式会社パスコから提供を受けた。記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部，地震に関する評価，長期評価：http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02.htm
- 2) 中央防災会議，首都直下地震対策専門調査会：<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html>
- 3) 能島暢呂，亀田弘行：地震時のシステム間相互連関を考慮したライフライン系のリスク評価法，土木学会論文集No.507/I-30，pp231-241，1995.
- 4) 若松加寿江，久保純子，松岡昌志，長谷川浩一，杉浦正美：日本の地形・地盤デジタルマップ，東京大学出版会，2005.
- 5) 審浩年，山崎文雄，杉本寛子：兵庫県南部地震における芦屋市の水道管被害の相関分析，第10回日本地震工学シンポジウム論文集，pp3211-3216，1998.

SPATIAL DISTRIBUTION OF LIFELINE DAMAGE SECTIONS FOLLOWING THE 2007 NIIGATA-KEN CHUETSU-OKI EARTHQUAKE

Kota KIMISHIMA, Yoshihisa MARUYAMA and Fumio YAMAZAKI

It is important to establish a proper recovery plan of lifeline systems against the scenario Tokyo Metropolitan earthquake. To achieve this objective, the characteristics of spatial distribution of earthquake-induced damages to lifeline systems should be evaluated properly. This study investigates the damage distribution characteristics after the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki earthquake. The results of this study suggest that the damaged sections of gas pipes are often found near those of water distribution pipes. Hence, the interactions among the functional losses of lifeline systems should be taken into consideration in the restoration process after coming urban earthquakes in Japan.