

### 3.5.2 ライフライン施設被害の相関性と復旧過程の実態解明

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

首都圏には重要インフラや社会機能が一極集中し、首都圏直下地震時の連鎖的被害波及と都市機能マヒが大きな懸念材料となっている。その被害軽減を図るには、ライフライン相互連関および社会機能の相互依存性に起因する被害波及構造を解明し、都市機能の防護戦略と早期復旧戦略を確立することが必要である。

そこで、本研究では近年の自然災害や人為的な事故などにおけるライフライン施設に関する被害波及の実態を明らかにすることを目的とする。

##### (b) 平成20年度業務目的

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震を例に新潟県柏崎市におけるライフライン施設の被害構造の分析を行う。新潟県中越沖地震における上下水道管と都市ガス埋設管の実被害データ及び復旧データをもとに、地震動強さ、地形・地盤条件と被害発生率の関係性の検討、水道管とガス供給管の被害位置の空間的な相関関係の評価を行い、想定される首都直下地震時におけるライフライン被害の相互連関特性を明らかにするための基礎資料を作成することを目標とする。さらに、新潟県中越地震時における上下水道、都市ガス供給施設の復旧状況を時系列で整理し、復旧状況に与えるライフラインの相互依存性を分析する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
千葉大学大学院工学研究科	教授	山崎文雄	
千葉大学大学院工学研究科	助教	丸山喜久	

#### (2) 平成20年度の成果

##### (a) 業務の要約

2007年新潟県中越沖地震における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空間相関性が高いことがわかった。これより、首都直下地震の復旧戦略には、ライフライン機能損失の相互依存性を考慮することが重要であると考えられる。

## (b) 業務の成果

### 1) 研究の背景・目的

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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>、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。

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 被害延長65.1km	-
液状化	55箇所	-
倒壊家屋	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

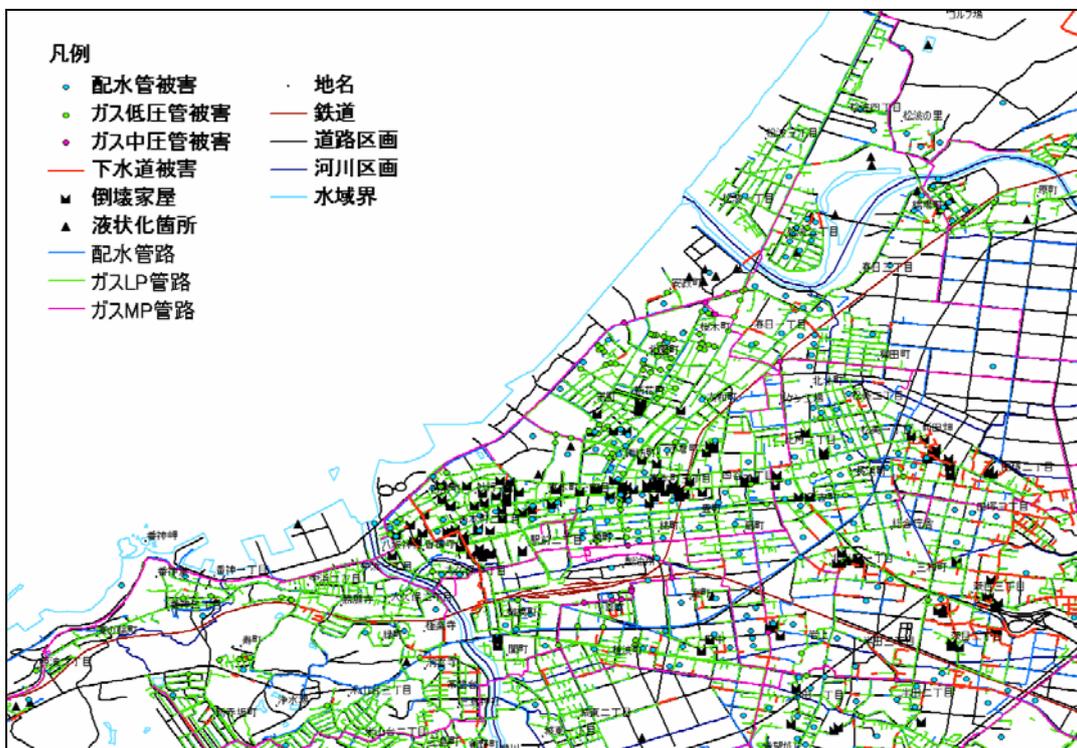


図 1 柏崎市における各種データの統合 GIS

### 3) 地形・地盤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。

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<sup>4)</sup>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 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。

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 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。

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。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。

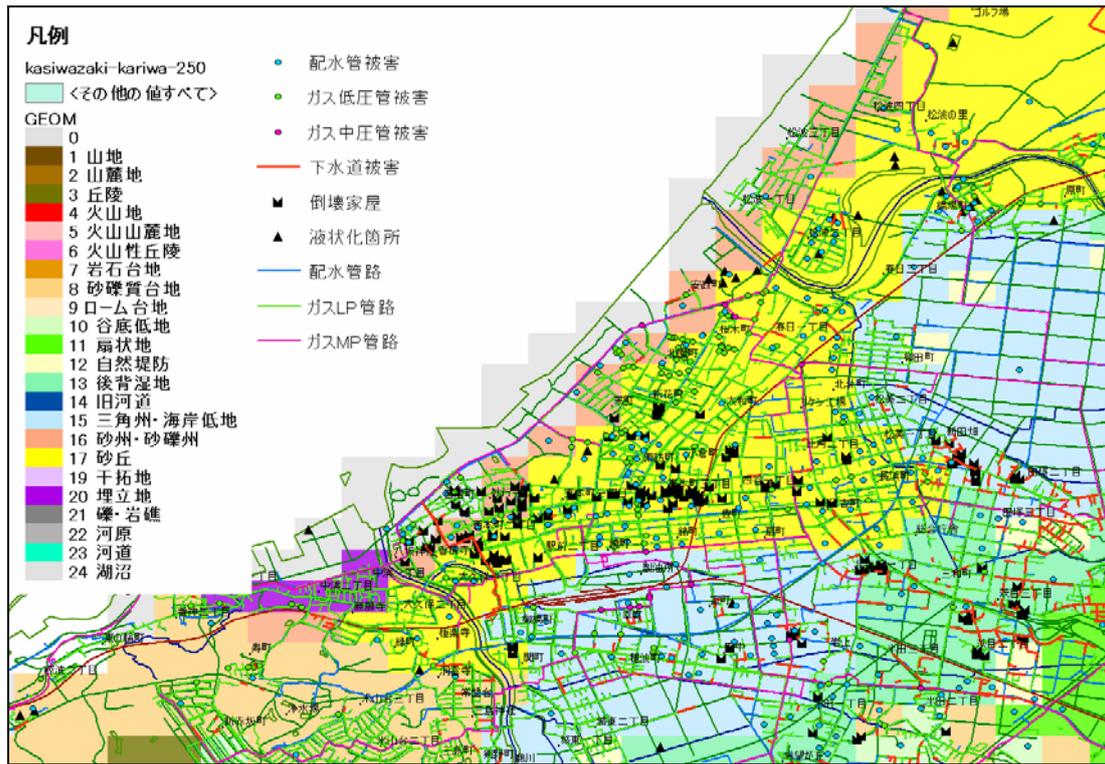


図2 柏崎市における微地形区分とライフライン被害分布

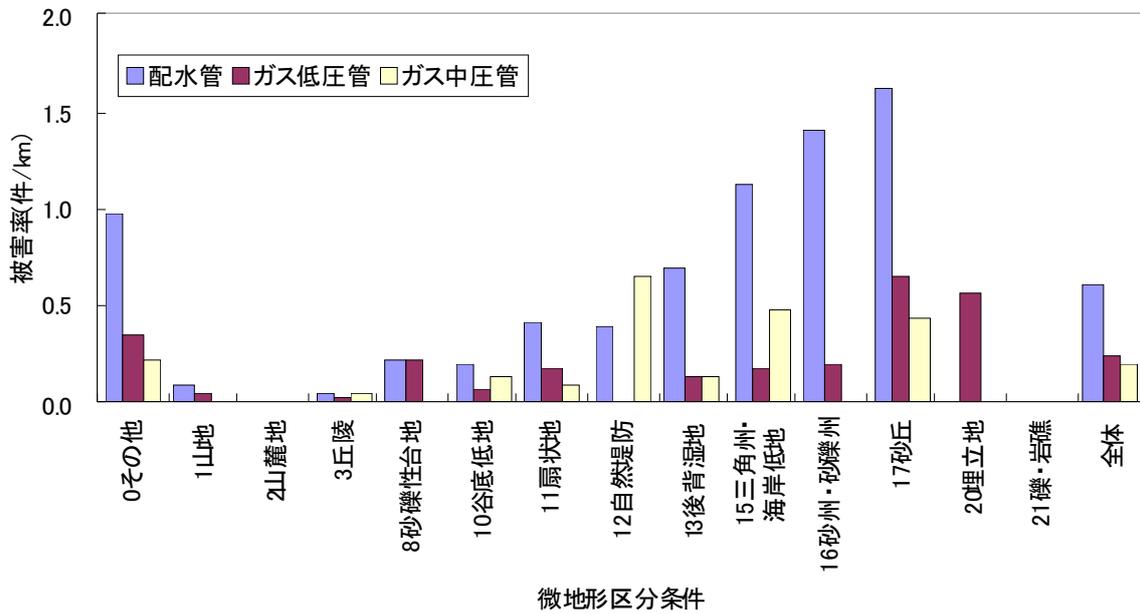


図3 微地形区分ごとの配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の被害率

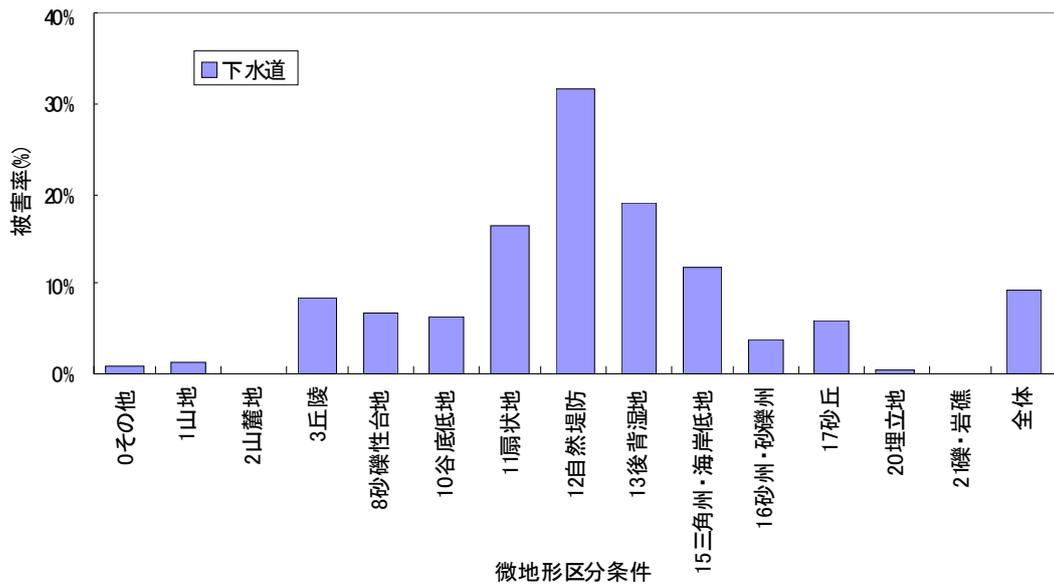


図4 微地形区分ごとの下水道の被害率

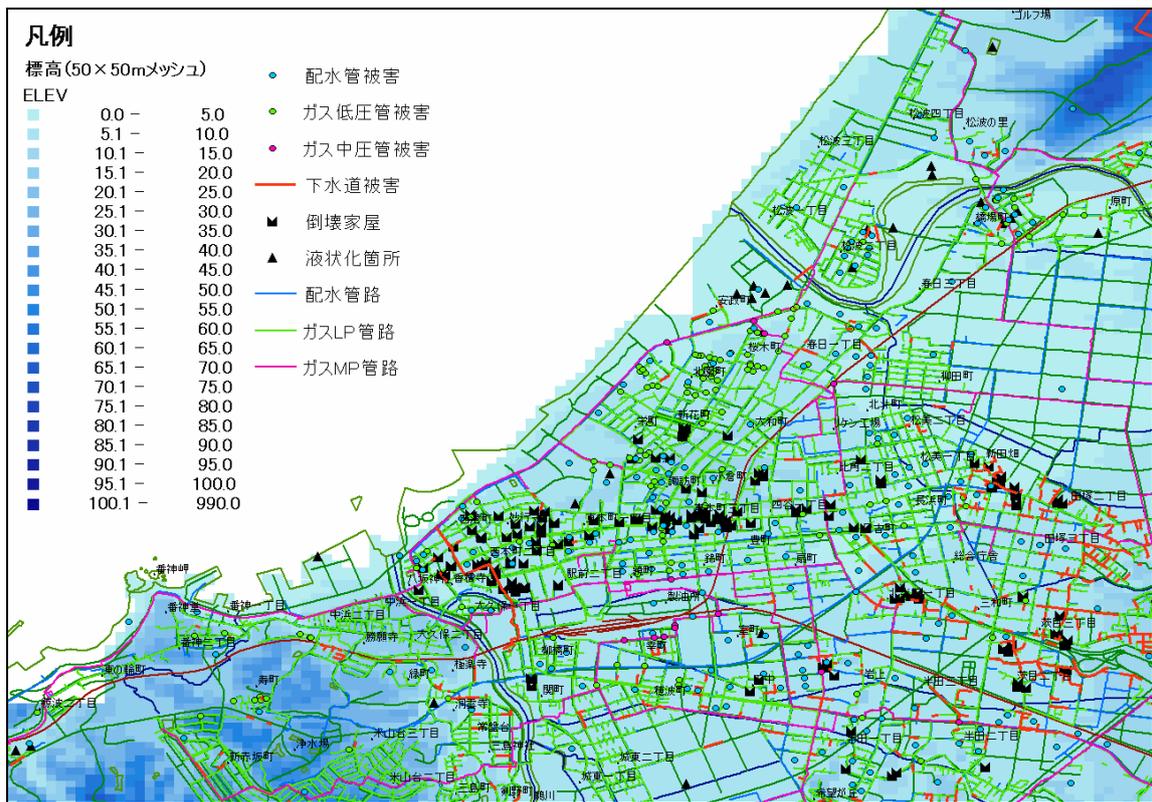


図5 柏崎市における標高とライフライン被害分布

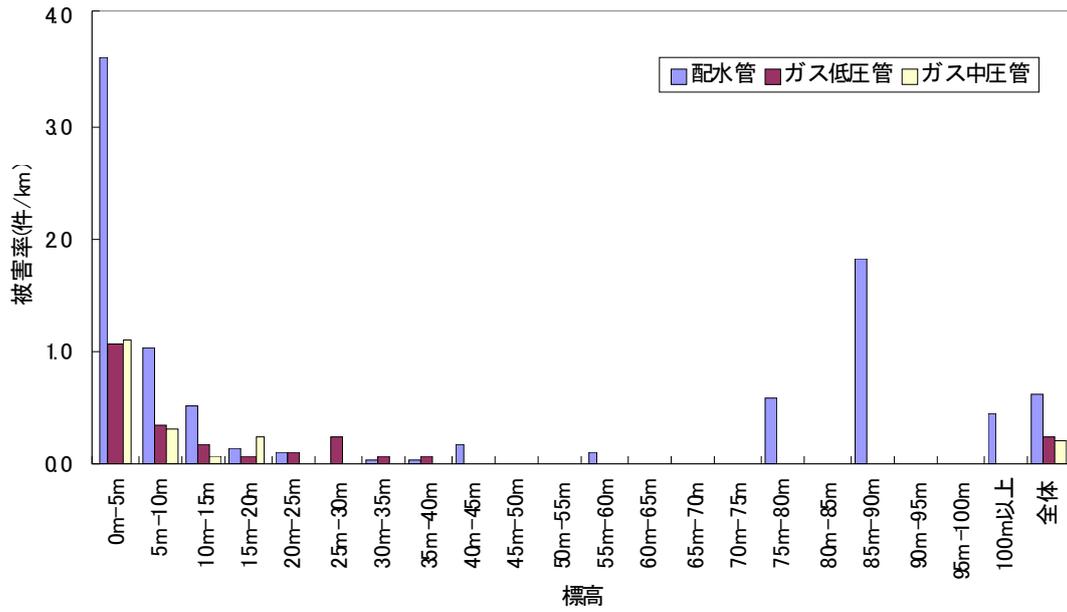


図 6 標高 5m 区分ごとの配水管、ガス低圧管、ガス中圧管の被害率

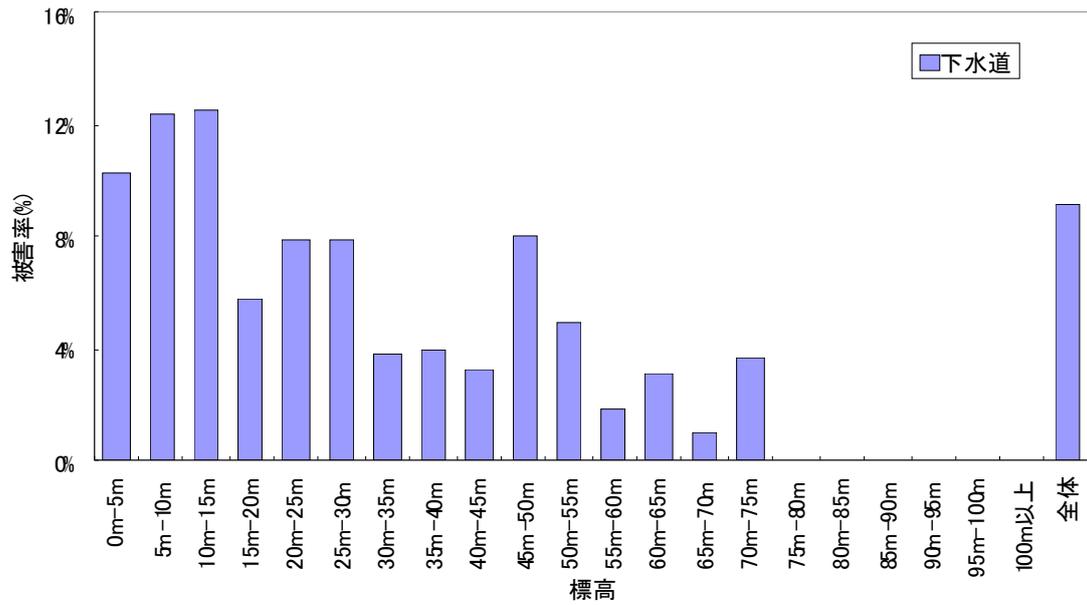


図 7 標高 5m 区分ごとの下水道の被害率

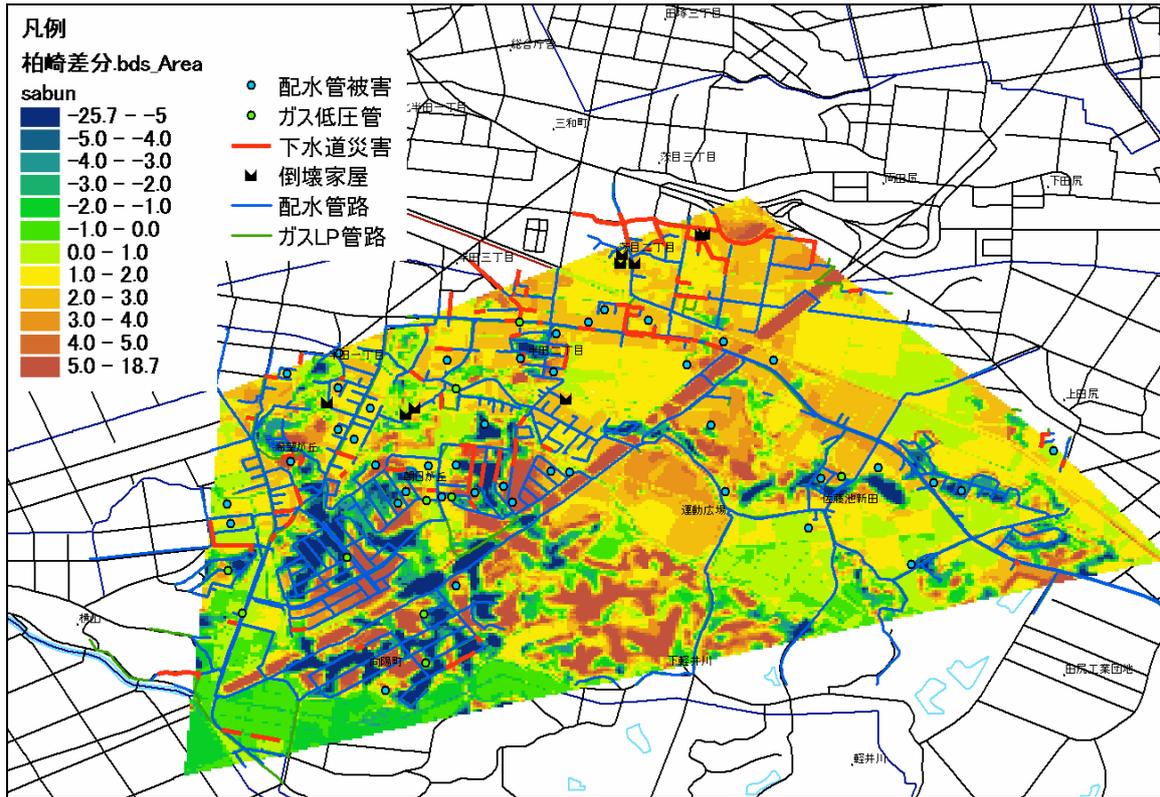


図8 地盤切盛高さ条件とライフライン被害分布

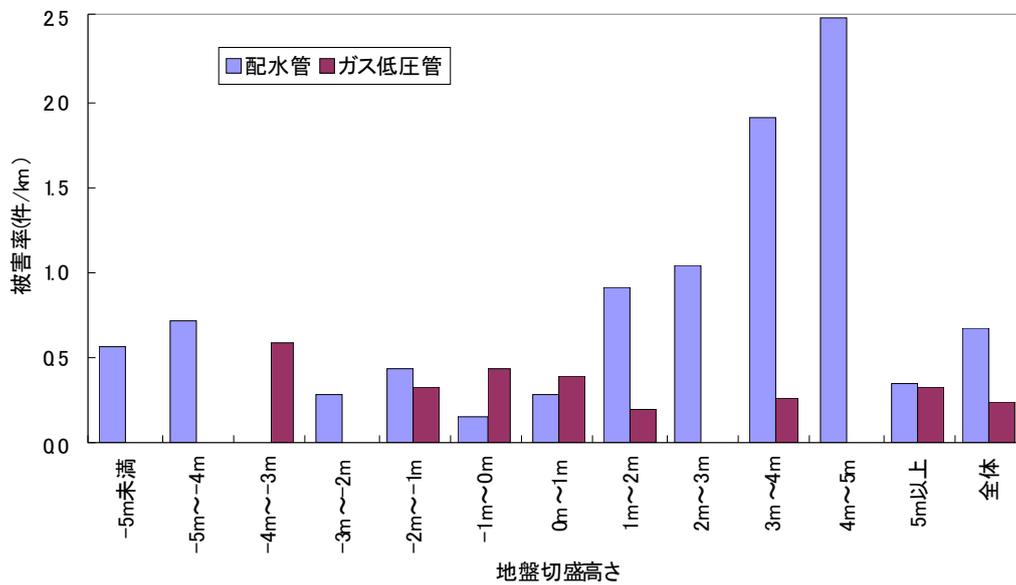


図9 地盤切盛高さ1m区分ごとの配水管、ガス低圧管の被害率

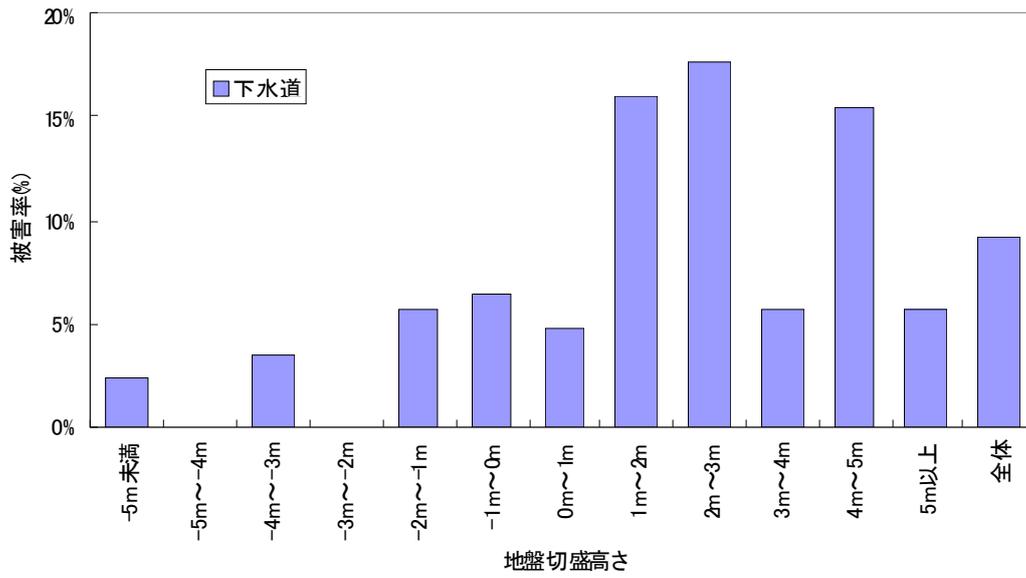


図 10 地盤切盛高さ 1m 区分ごとの下水道の被害率

#### 4) ライフライン被害の空間相関性

被害箇所空間的相互関係<sup>5)</sup>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。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。これらのライフラインは、被害位置の空間的な密度が高いものと考えられ、復旧の際には人的および物的資源が狭い範囲に集中されることが予想される。

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。これらのライフライン被害に関しては、被害位置の空間的な相関性が高く、復旧調整が必要となることが予想される。とくに柏崎市では、ガス水道局という 1 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。

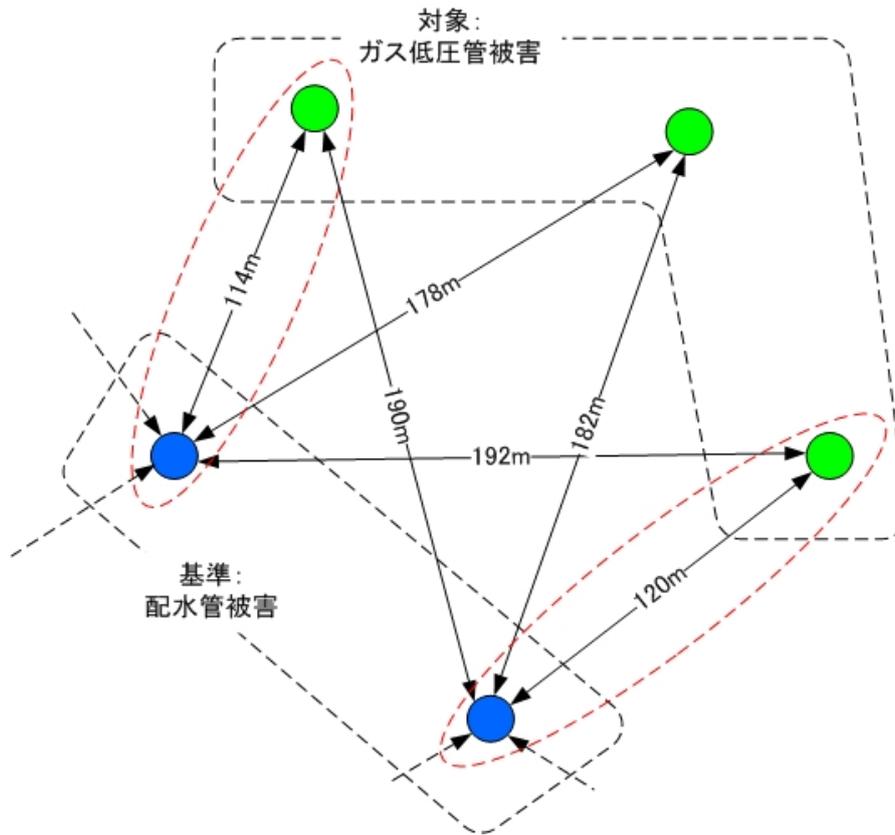


図 11 ライフライン被害の最近接距離の概念図

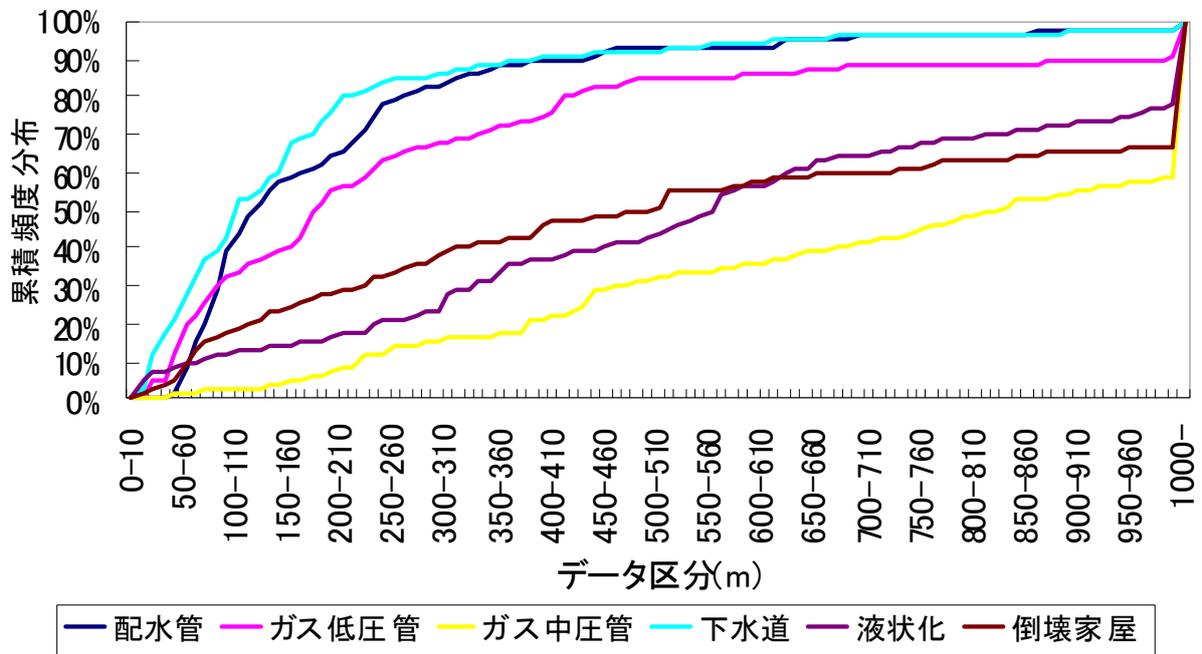


図 12 配水管被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

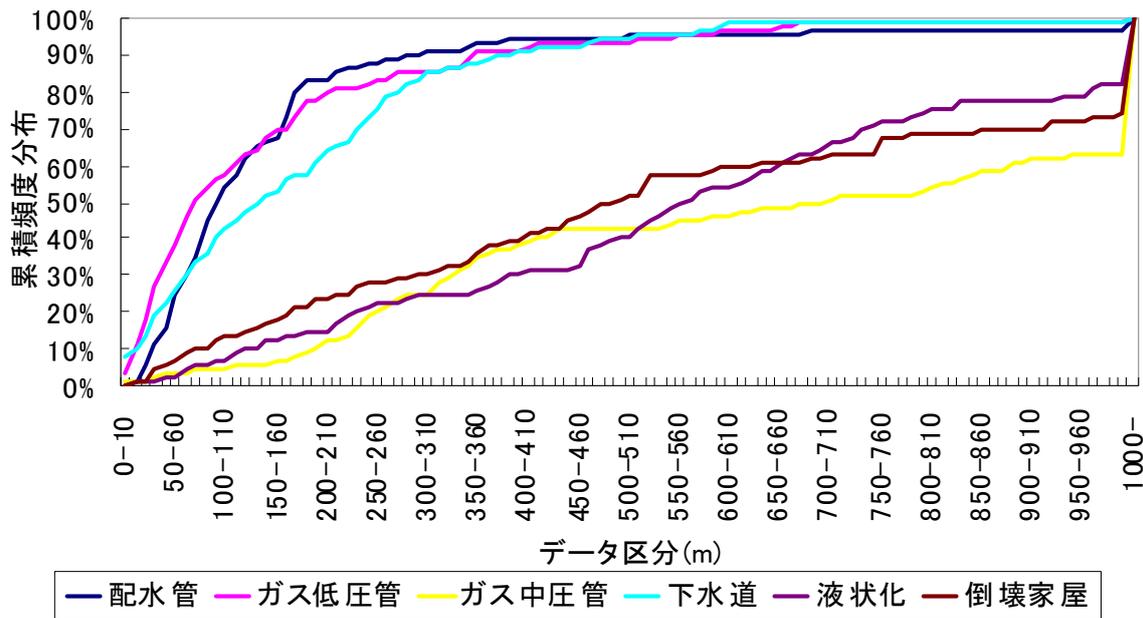


図 13 ガス低圧管被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

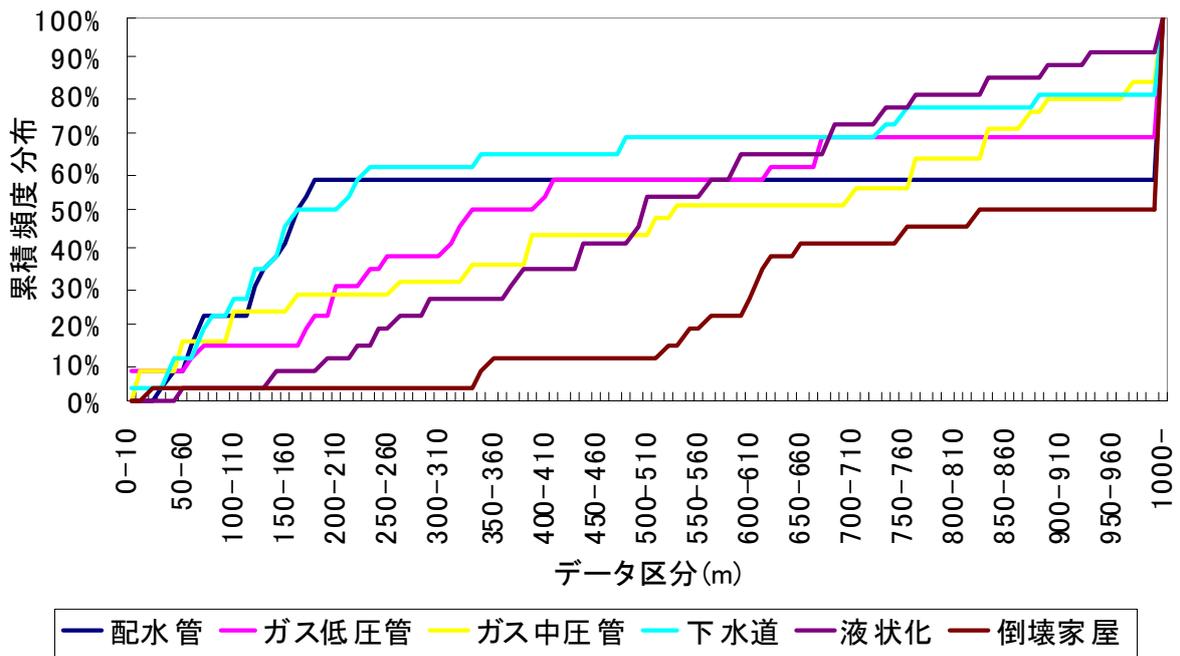


図 14 ガス中圧管被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

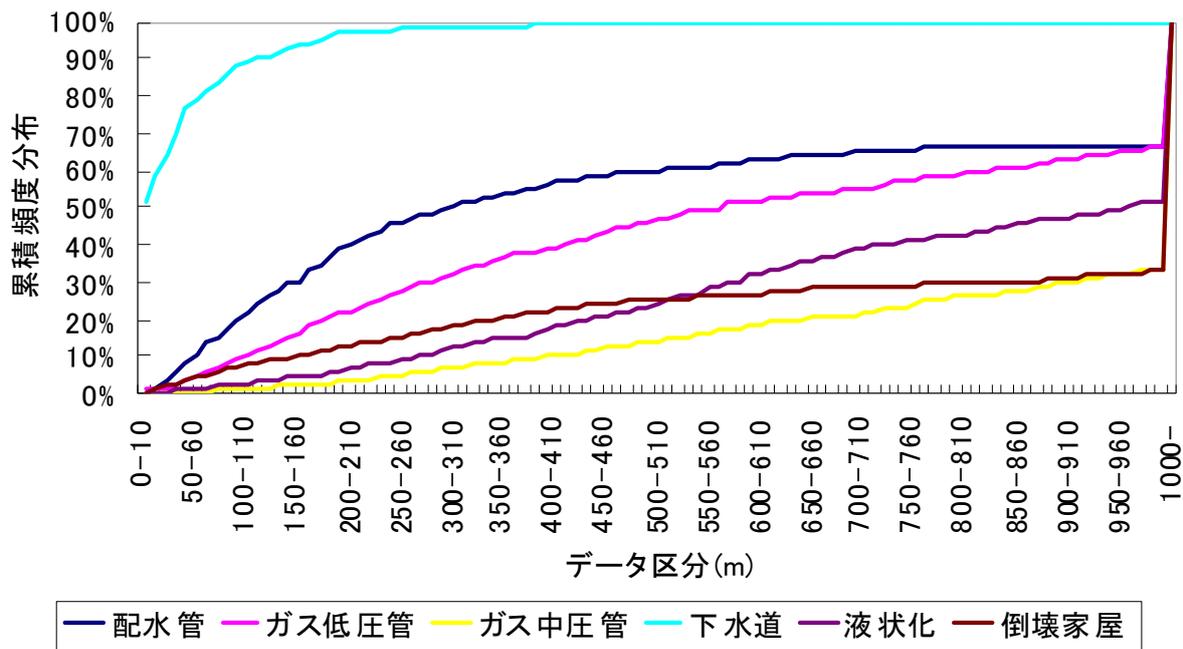


図 15 下水道被害から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

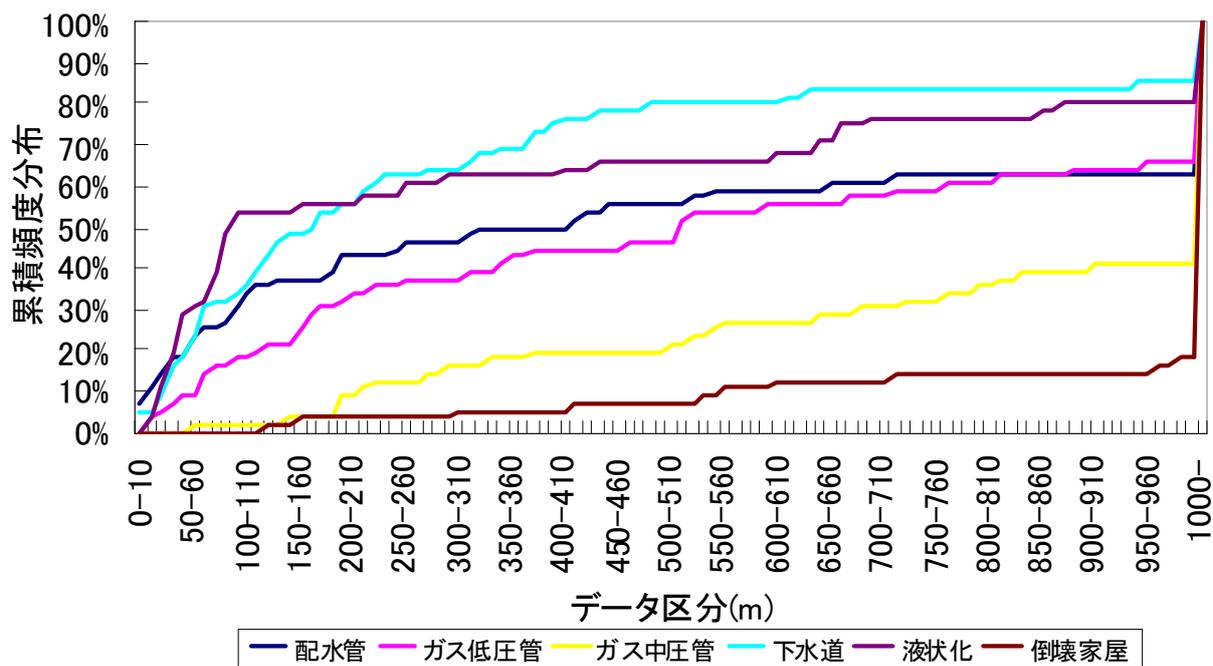


図 16 液状化箇所から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

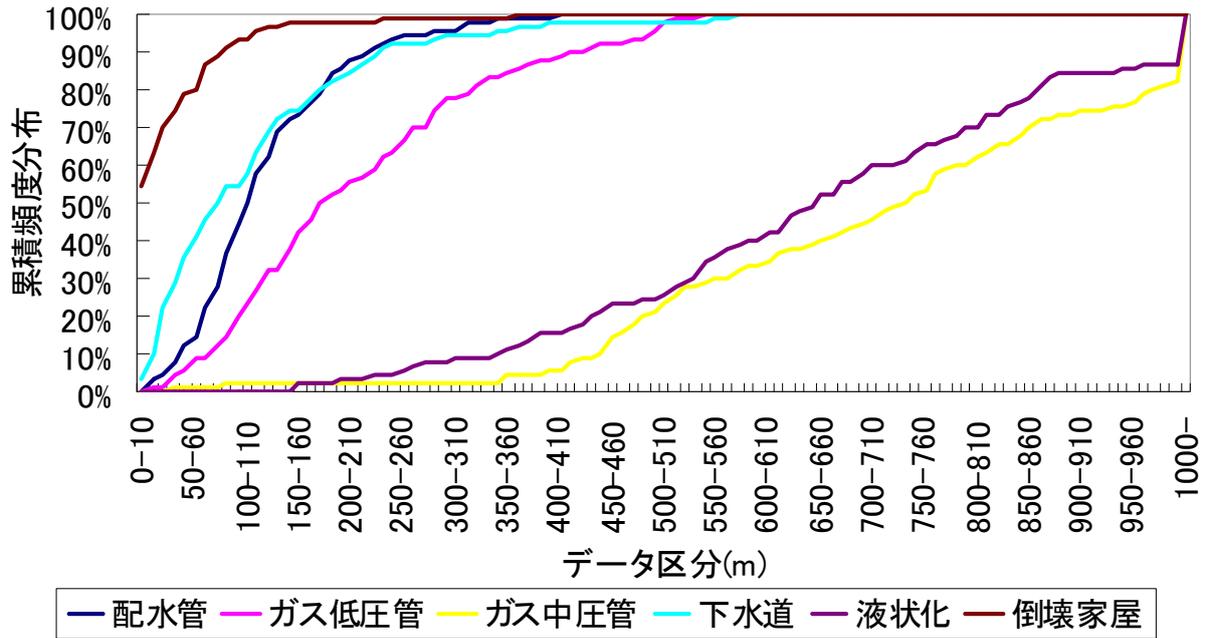


図 17 倒壊家屋から各種被害間の最近接距離の累積頻度分布

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(%)

基準 \ 対象	配水管	ガス低压管	ガス中压管	下水道	液状化	倒壊家屋
配水管	2.1	12.2	1.5	21.2	9.0	5.3
	77.6	63.0	12.2	83.8	20.8	32.8
ガス低压管	15.8	34.4	3.2	22.8	2.5	5.7
	88.0	82.2	19.0	72.8	22.2	27.8
ガス中压管	7.7	7.7	8.0	11.5	0.0	3.8
	57.7	34.6	28.0	61.5	19.2	3.8
下水道	7.7	3.4	0.3	76.0	1.2	3.6
	45.1	26.4	4.8	97.7	8.6	14.9
液状化	17.9	8.9	0.0	17.9	28.6	0.0
	44.6	35.7	12.5	62.5	57.1	3.6
倒壊家屋	12.4	5.7	1.4	35.7	0.0	79.4
	93.3	63.3	2.4	92.4	5.2	99.0

※下段による分類

100-90%	90-80%	80-70%	70-60%	60-50%	50%-
---------	--------	--------	--------	--------	------

### (c) 結論ならびに今後の課題

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、被害箇所の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。本研究の成果を踏まえれば、各ライフラインの復旧状況の相互依存性に関してより詳細な検討が可能となるものと考えられ、今後の課題としたい。

### (d) 引用文献

- 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](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.

### (e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
2007年新潟県中越沖地震における柏崎平野内の地震動分布推定（口頭	末富岩雄、福島康宏、塚本博之、石田栄	土木学会第63回年次学術講演会（東北大学）	2008年9月	国内

発表)	介、山崎文雄			
Use of Digital Aerial Images to Detect Damages due to Earthquakes (口頭発表)	F. Yamazaki, D. Suzuki, Y. Maruyama	14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China	2008年10月	国際
Extraction of Building Damages in the 2007 Niigata-Ken Chuetsu-Oki Earthquake Using Digital Aerial Images (口頭発表)	D. Suzuki, F. Yamazaki	28th Asian Conference on Remote Sensing, Sri Lanka	2008年11月	国際
Seismic Shutoff Characteristics of Intelligent Gas Meters in Multistory Buildings Based on Actual Earthquake Data and GIS (口頭発表)	Y. Maruyama, F. Yamazaki, T. Nitto, N. Hosokawa	11th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Taipei, Taiwan	2008年11月	国際
デジタル航空画像を用いた2007年新潟県中越沖地震の建物被害抽出 (口頭発表)	鈴木大輔、山崎文雄、丸山喜久	日本地震工学会・大会－2008 (仙台)	2008年11月	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文 (論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
振動台実験と実地震データに基づくマイコンメーター遮断特性の評価	矢野嘉久、丸山喜久、山崎文雄、山内亜希子、菜花健一	土木学会論文集A、Vol. 64、 No. 2、 pp.248-257	2008年4月	国内
リアルタイム地震情報の利用技術の最新動向	山崎文雄	検査技術、日本工業出版、Vol. 13、 No. 8、 pp.8-14	2008年8月	国内
マルチエージェント・シミュレーションを用いた高速道路走行車両に与える緊急地震速報の影響に関する検討	松本和貴、丸山喜久、山崎文雄	地域安全学会論文集、 No. 10、 pp. 321-330	2008年11月	国内

Estimation of Seismic Shutoff of Intelligent Gas Meters in the Tokyo Metropolitan Area	Y. Maruyama, F. Yamazaki, Y. Yano, N. Hosokawa	Journal of Disaster Research, Vol. 3, No. 6, pp. 400-406	2008年12月	国際
道路交通にもたらず緊急地震速報の影響－高速道路で緊急地震速報を受信したら－	丸山喜久、山崎文雄	画像ラボ、Vol. 20、No. 3、 pp. 7-12	2009年2月	国内

#### マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
なし				

#### (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

##### 1) 特許出願

なし

##### 2) ソフトウェア開発

名称	機能
なし	

##### 3) 仕様・標準等の策定

なし

#### (3) 平成21年度業務計画案

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震を対象に新潟県柏崎市におけるライフライン施設の被害構造の分析を行う。上下水道管、ガス管などの埋設管被害について、被害発生位置の空間的な相関特性を、地震動強さ、地盤・地形条件、人工的な地形改変（盛土、切土）などを説明因子として明らかにする。なおこの際に、地震動強さに与える地盤・地形、人口改変地盤の影響を定量的に評価する目的で、超高密度地震観測ネットワークが配備されている首都圏で例題的な検討を行う。

さらに、兵庫県南部地震以降の地震時のライフライン被害（とくに埋設管）を精査し、地震動強さとライフライン被害率の関係式を構築する。これは、マクロにライフラインの被害率を予測するのに適した関係式となることが予想されるので、首都直下地震の際の災害復旧シミュレーションでの利用が期待される。