3.3.2　時系列フローによる災害時の被害波及構造の整理

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

首都圏には重要な社会基盤施設や社会機能が一極集中している。そのため、首都圏直下地震が発生した際には、被害の連鎖的な波及が生じて都市機能が長期間マヒしてしまうことが大きな懸念材料となっている。このような被害を軽減するためには、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よってもたらされたライフライン施設に関わる被害について分析を行い、被害波及構造の実態を明らかにすることを目的とする。

(b) 平成 19 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対象に、主にライフライン被害（ガス供給管、上水道管、下水道管の被害）の収集とデータベース化を行う。さらに、柏崎市や刈羽村の地震観測点で記録された加速度波形の収集を行い、基礎的な分析をする。また、いくつかの地点では常時微動観測を実施し、地盤の震動特性を把握する。

既存の地質図などとこれらの被害データ、地震データを統合して GIS（地理情報システム）化し、今後、地震動強さ、地盤条件、ライフライン施設の被害発生箇所の関連性を評価するための基礎資料として用いることを考えている。さらに、新潟県中越沖地震の被害状況を時系列に整理し、被害の波及構造を分析する。

(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 19 年度の成果

(a) 業務の要約

2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震に関して、様々な機関によって強震域で観測された地震記録を収集した。7 つの公的機関、ライフライン事業者から観測記録を入手できた。上下水道、ガスのライフライン埋設管施設の被害データを収集し、既存の地盤図や標高データなどと統合して GIS 化した。柏崎市に関しては土地条件図が未整備であるため、現地にて常時微動観測を実施し柏崎平野の震動特性を詳細に把握することを目指した。常時微動の H/V スペクトル比によると、柏崎平野の卓越周期は概ね約 1.5 秒程度と推定された。ライフライン施設の被害データには緯度経度で管理されていないものも一部存在したが、緯度経度へ変換し GIS 上で管理できるようにした。ガス管の被害位置と上水道管の被害位置は比較的近い位置に生じていることが多く、何らかの関連性があるものと推測された。今後はライフライン施設被害の相互連関性を評価するために、複数のライフラ

イン施設の被害箇所の空間的な相関性を本研究で整備したデータセットをもとに検討する予定である。

(b) 業務の成果

1) 研究の背景・目的

2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震（M_{JMA}=6.8）では、住宅、道路、地中埋設管など様々な都市施設に被害が生じた。この地震の震源に近い柏崎市や刈羽村では震度 6 強の大きな揺れが観測され、例えば防災科学技術研究所が設置しているK-NET柏崎観測点では液状化の発生が示唆されるような強震記録が得られている。

1995 年の兵庫県南部地震以降、公的機関に加えてライフライン事業者などの民間企業でも強震観測が行われるようになってきた。新潟県中越沖地震でも柏崎市や刈羽村の強震域で様々な機関が地震記録を観測している。地震動強さは地形・地盤条件の影響を受けることから、強震域における多数の地震動特性を分析することは、社会基盤施設の被害要因の検討に役立つものと考えられる。また、地中埋設管に代表されるライフライン施設の被害に関しても地形・地盤条件による影響を受けるものと考えられるので、これらの地震データ、被害データ、地形・地盤データを統合して GIS 化することは、首都直下地震の際にライフライン施設にもたらされる可能性のある被害構造を明らかにするための基礎資料として活用できるものと期待される。また、ライフライン施設の被害構造の広域的な全体像の把握だけではなく、狭い地域でのミクロな被害波及構造についても検討を行うことができる。

以上のことを踏まえて本研究では、2007 年新潟県中越沖地震を対象に主にライフライン被害（ガス供給管、上水道管、下水道管の被害）の収集とデータベース化を行い、多数収集した柏崎市内の地震観測データ、既存の地質図などと統合して GIS 化した。地盤条件に関しては現地にて常時微動観測を行い、より詳細な検討を行った。

2) 柏崎市内における強震観測記録の分析

2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分に発生した新潟県中越沖地震では、気象庁（JMA）の管轄する地震観測点のうち柏崎市と刈羽村の 3 つの地点（柏崎市中央町、柏崎市西山町、刈羽村割町）で震度 6 強の地震動が観測された。国土地理院の作成した断層モデル[1)]（図 1）によると、南東傾斜と北西傾斜のモデルが示されているが、地震動波形データの解析などから大局的には南東傾斜面が震源断層面であると推定されている[2)]。

震源に近い強震域では、気象庁、防災科学技術研究所、東日本高速道路（株）、JR東日本、柏崎市ガス水道局、石油資源開発（株）、東京電力（株）によって地震動が観測されている。図 2 に、これらの地震観測点の位置を示す。なお、図 2 には若松ら[3)]による 250mメッシュの微地形分類を併せて示している。図 3 には、国土地理院の数値地図 25000 による標高データと地震計位置を示す。概ね全ての観測点が柏崎平野に位置しており、微地形分類としては三角州、後背湿地、扇状地、砂丘などに分類されている。標高データによると、東京電力(株)が設置している柏崎刈羽原子力発電所のサービスホール観測点は標高約 60m、石油資源開発（株）の吉井鉱場、北陸自動車道の西山インターチェンジ（IC）、旧西山町役場は標高約 30mの地点に位置しているが、その他の観測点の標高は約 10m程度以下となっ

ている。

図 4 にK-NET柏崎、柏崎市ガス水道局の鏡町供給所、柏崎IC、JR柏崎駅で観測された新潟県中越沖地震の加速度波形（NS成分）を比較する。なお、これらの観測点の近傍の藤井供給所では本震の記録が観測されなかった。図 5 に、図 4 に示した加速度波形から求めた加速度応答スペクトル（5%減衰）を示す。K-NET柏崎の加速度波形にはサイクリックモビリティの影響が見られており、地表には噴砂などの液状化の痕跡はみられなかったが地中の砂層が液状化したものと推測されている[4)]。また、鏡町供給所の地震波形もサイクリックモビリティの影響を受けているように思われる。柏崎IC、JR柏崎駅に関しては、主要動到達後に加速度波形の周期が長くなっており、地盤が非線形化したことが示唆される。加速度応答スペクトルを見ると、全ての観測記録について周期 2.0 秒付近にピークが見られる。これには柏崎平野の震動特性が影響しているものと思われる。

図 6 に、刈羽村役場と柏崎刈羽原発のサービスホールで観測された加速度波形（水平 2 成分）を比較する。また、図 7 に加速度応答スペクトル（5%減衰）を示す。なお、近傍の刈羽供給所では本震記録が得られなかった。刈羽村役場の観測記録に関しては、柏崎市内での観測記録と同様に主要動到達後に周期が長周期化しており、加速度応答スペクトルにも周期 2.0 秒付近のピークが見られる。図 2、図 3 からも刈羽村役場の地盤条件は、柏崎市内の観測点とほぼ同等であることが想像されるので、ほぼ同じような震動特性を示したものと考えられる。サービスホールに関しては、微地形区分は K-NET 柏崎と同じ砂丘であるが（図 2）、標高が約 60m と高くなっている。加速度波形を見ると、とくに NS 成分に関して周期が長くなっている程度が小さく、加速度応答スペクトルのピークも周期 0.4 秒に見られている。

図 8 に、西山 IC と旧西山町役場で観測された加速度波形（水平 2 成分）を比較する。また、図 9 に加速度応答スペクトル（5%減衰）を示す。西山 IC、旧西山町役場ともに丘陵地に位置しており（図 2）、柏崎平野部と比べると標高も高い（図 3）。このため、応答スペクトルの卓越周期も約 0.5 秒と柏崎市中心部の観測記録よりも短くなっている。

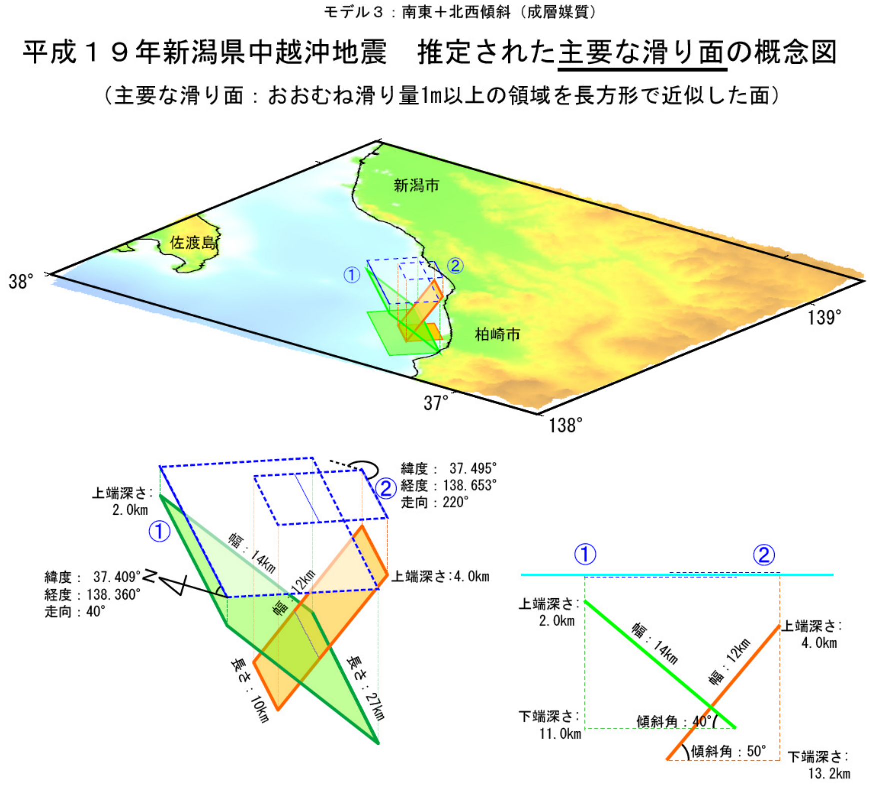

図 1　2007 年新潟県中越沖地震の断層概念図 [1)]

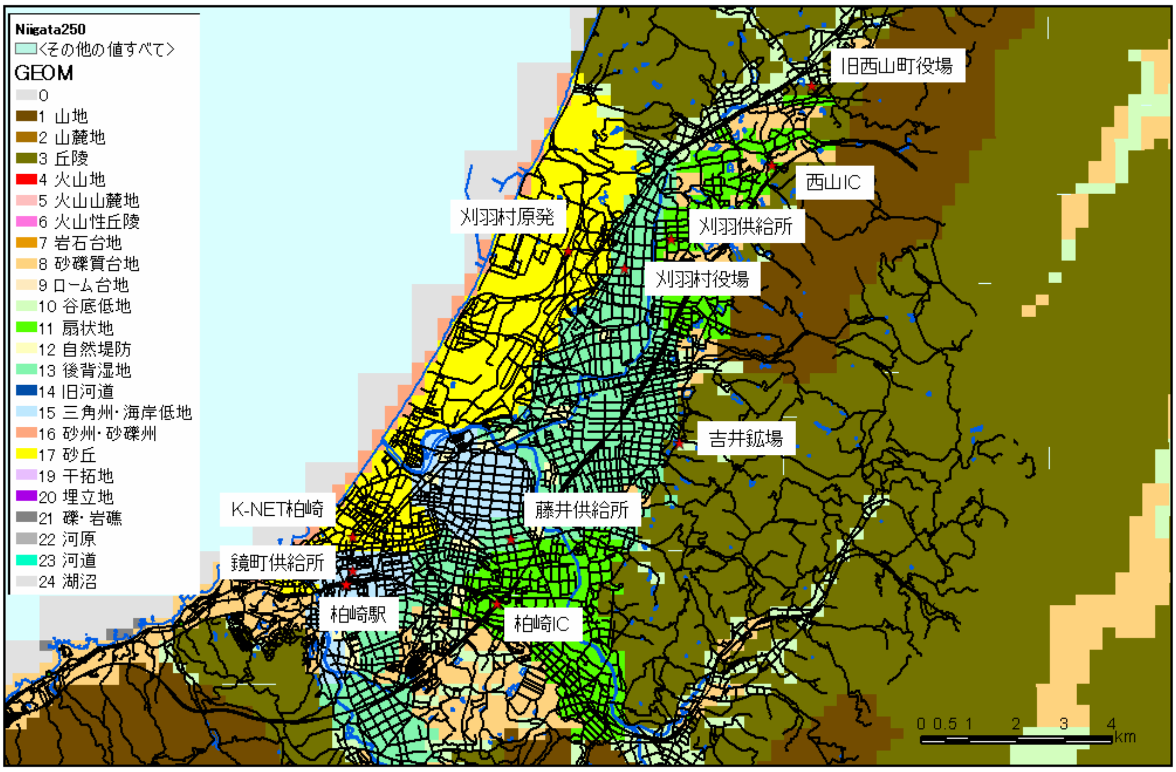

図 2　新潟県中越沖地震の強震域における地震観測点

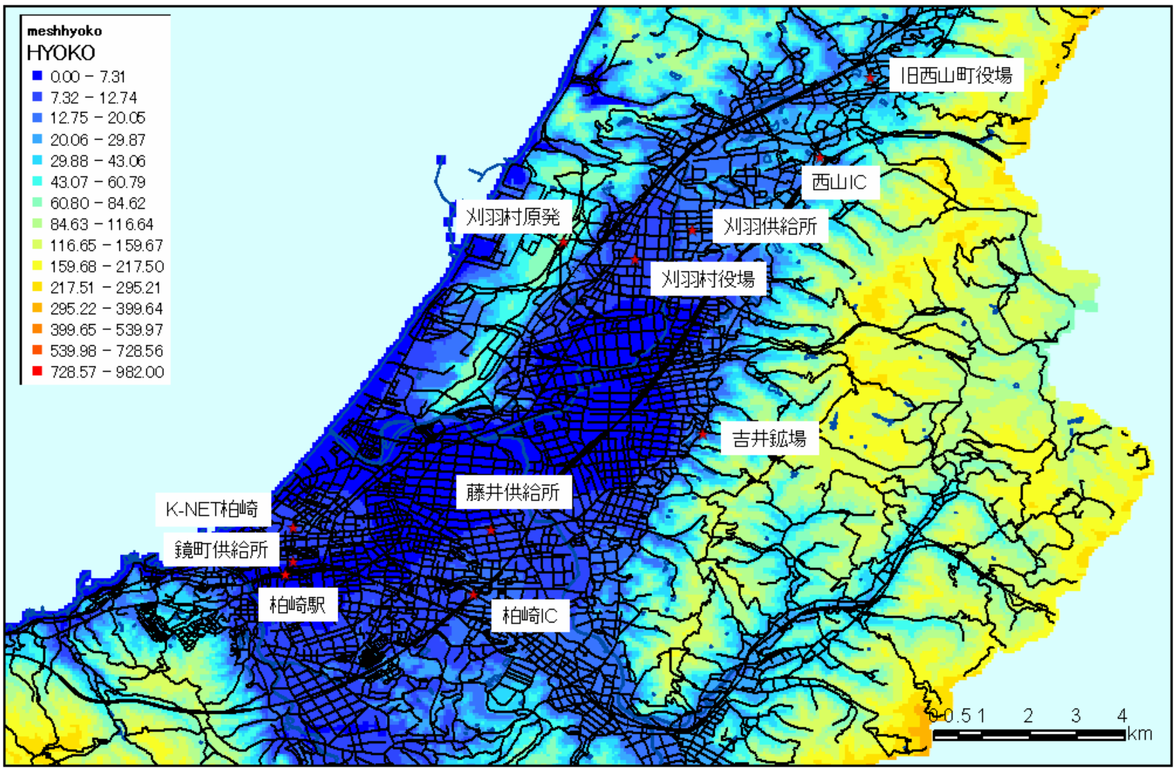

図 3　新潟県中越沖地震の強震域における地震観測点と標高（m）

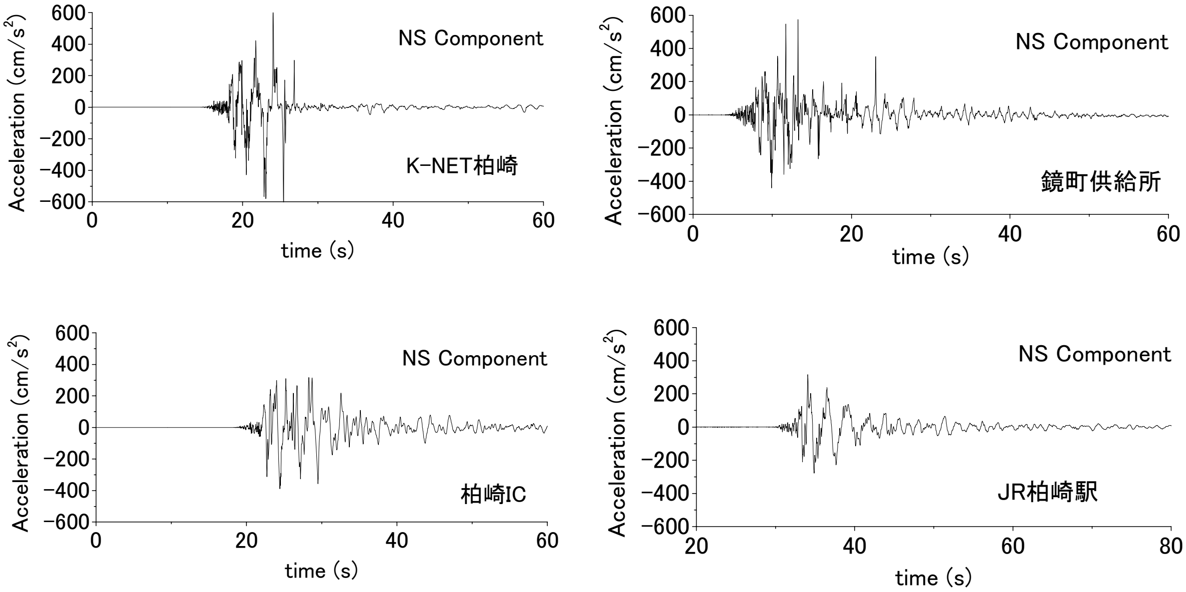

図 4　柏崎市内で観測された新潟県中越沖地震の強震記録

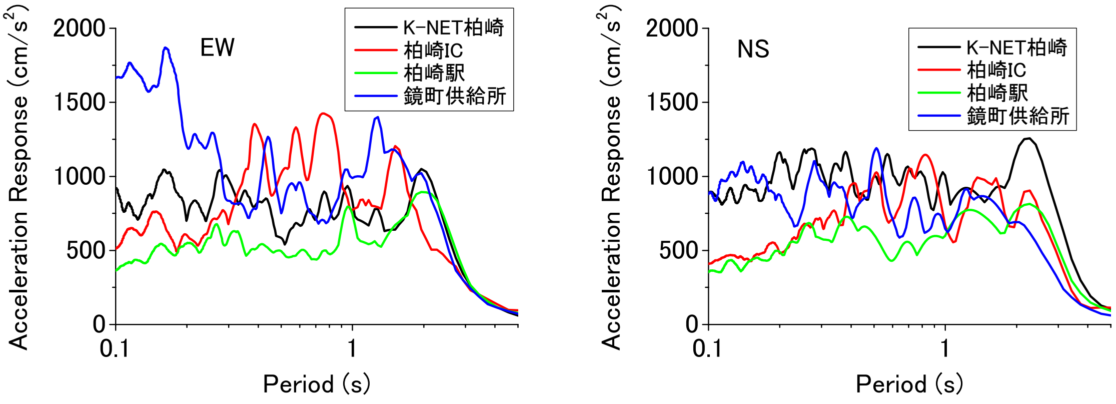

図 5　柏崎市内で観測された新潟県中越沖地震の加速度応答スペクトル（5%減衰）

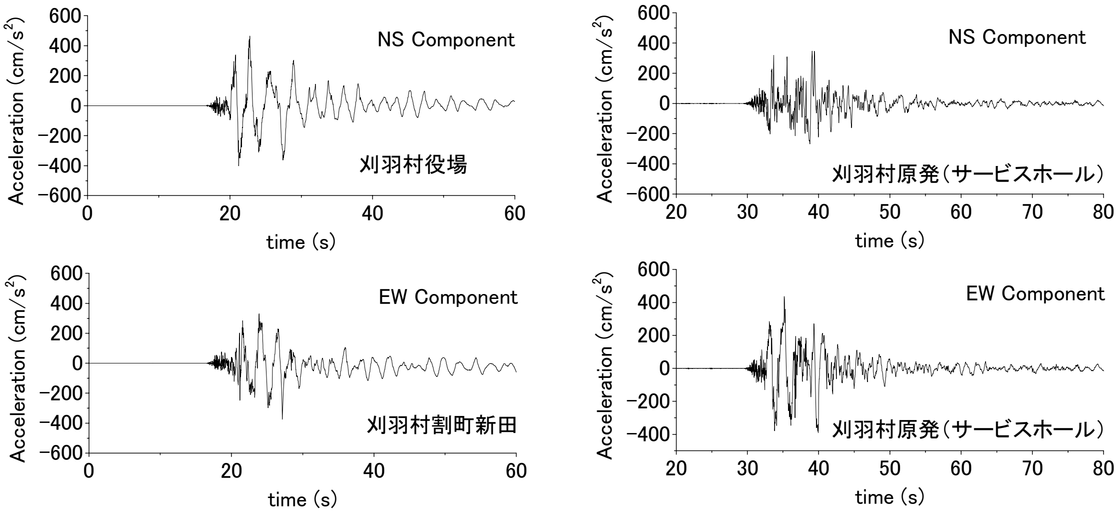

図 6　刈羽村で観測された新潟県中越沖地震の強震記録

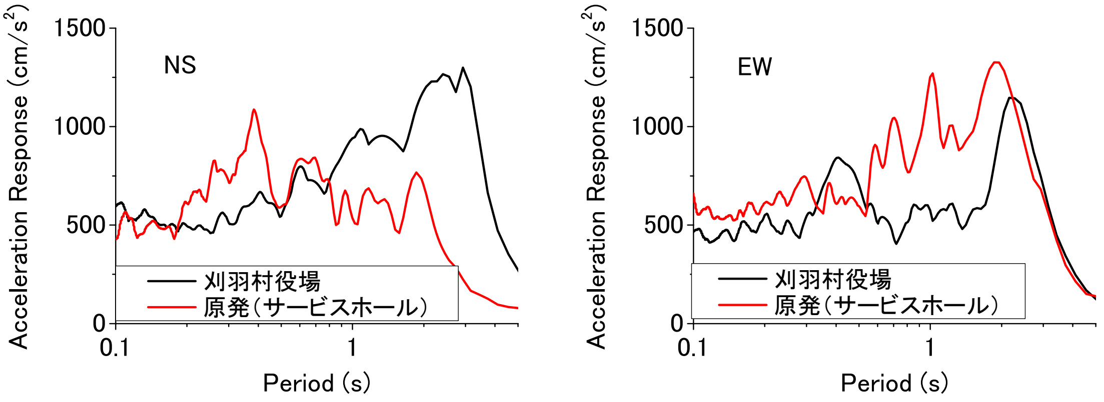

図 7　刈羽村で観測された新潟県中越沖地震の加速度応答スペクトル（5%減衰）

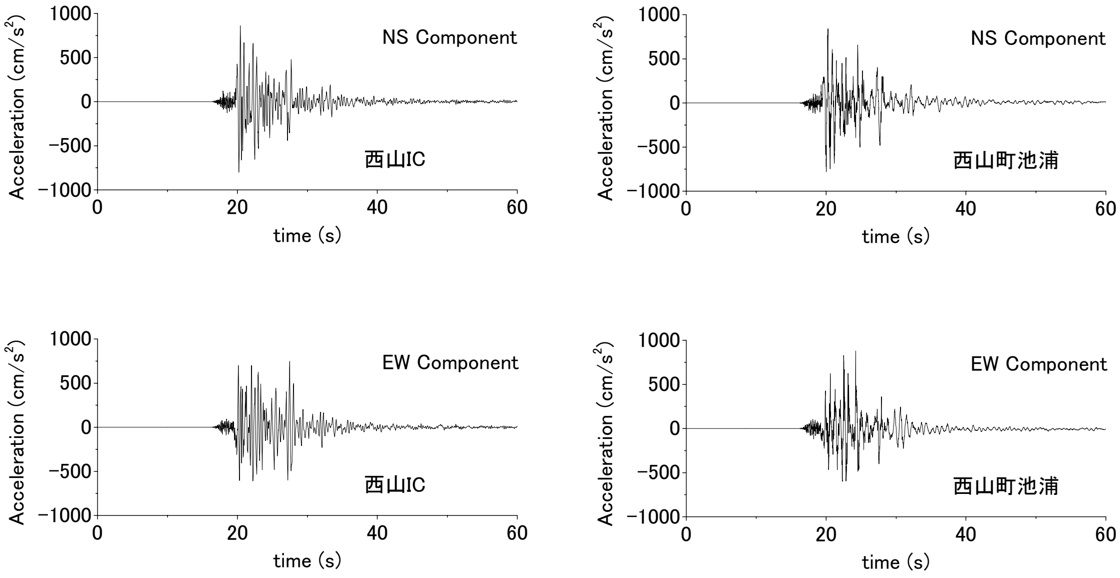

図 8　旧西山町で観測された新潟県中越沖地震の強震記録

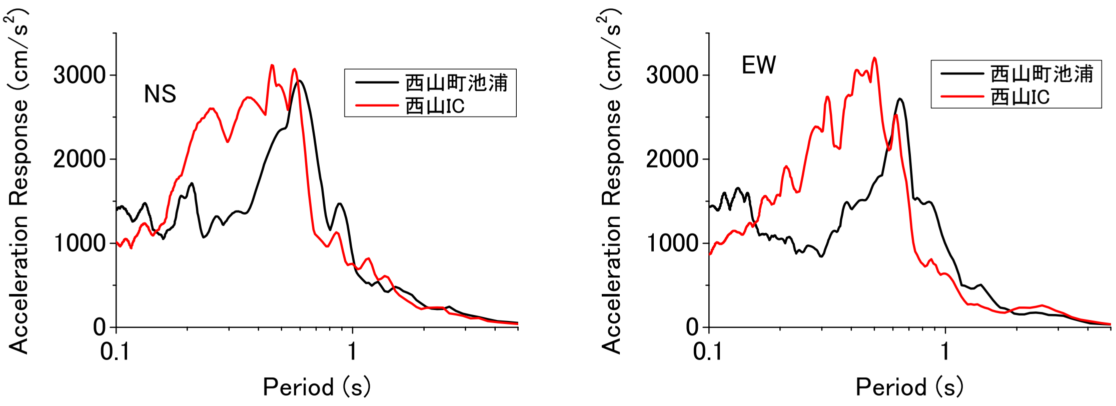

図 9　旧西山町で観測された新潟県中越沖地震の加速度応答スペクトル（5%減衰）

3) 柏崎市中心部での常時微動観測

図 2 に示した微地形分類は 250m メッシュであり、広域の地盤情報を俯瞰するには非常に有用である。一方で、狭い範囲の地盤条件を整理するには広域のデータセットでは捉えきれない情報があることも踏まえる必要がある。

そこで、本研究では常時微動観測を実施し、柏崎市中心部の地盤の卓越周期を推定した。図 10 に常時微動観測を行った地点を示す。2007 年 9 月 7 日～8 日に観測を実施し、各地点で 5 分間計測をした。図 11 に若松ら[3)]による 250mメッシュの微地形分類と常時微動観測地点の位置関係を示す。A～Dは砂丘、E～Hは三角州・海岸低地に分類されている。柏崎に関しては土地条件図が未整備である。このため国土地理院では応急的に空中写真により地形分類図を作成している[5)]（図 12)。図 12 によると、A～Dは砂丘、E～Hは低地・谷底平野に分類されている。国土地理院による低地の一般面に関する定義によると、谷底平野は「河川の堆積作用により形成された低平な土地」とされている。若松らによる地形分類基準[6)]では、三角州は「河川河口部の沖積低地で、低平で主として砂ないし粘性土よりなるもの」と定義されており、ほぼ同等の分類結果が与えられているものと考えられる。

図 13 に、各観測地点における常時微動のH/Vスペクトル比を示す。常時微動のH/Vスペクトル比の卓越周期は地盤の卓越周期にほぼ対応すると考えられている[7)]。各観測地でのH/Vスペクトル比の振幅形状は比較的よく似ている。H/Vスペクトル比の卓越周期は概ね1.5 秒前後に見られ、軟弱な地盤であることが示唆される。また、A～DとE～Hで地形分類が異なっているが、常時微動のH/Vスペクトル比の形状や卓越周期に大きな差は見られなかった。これらのことに関して結論づけるためには、今後地盤データを収集し解析的な検討を要する。

図 10　柏崎市中心部における常時微動観測地点

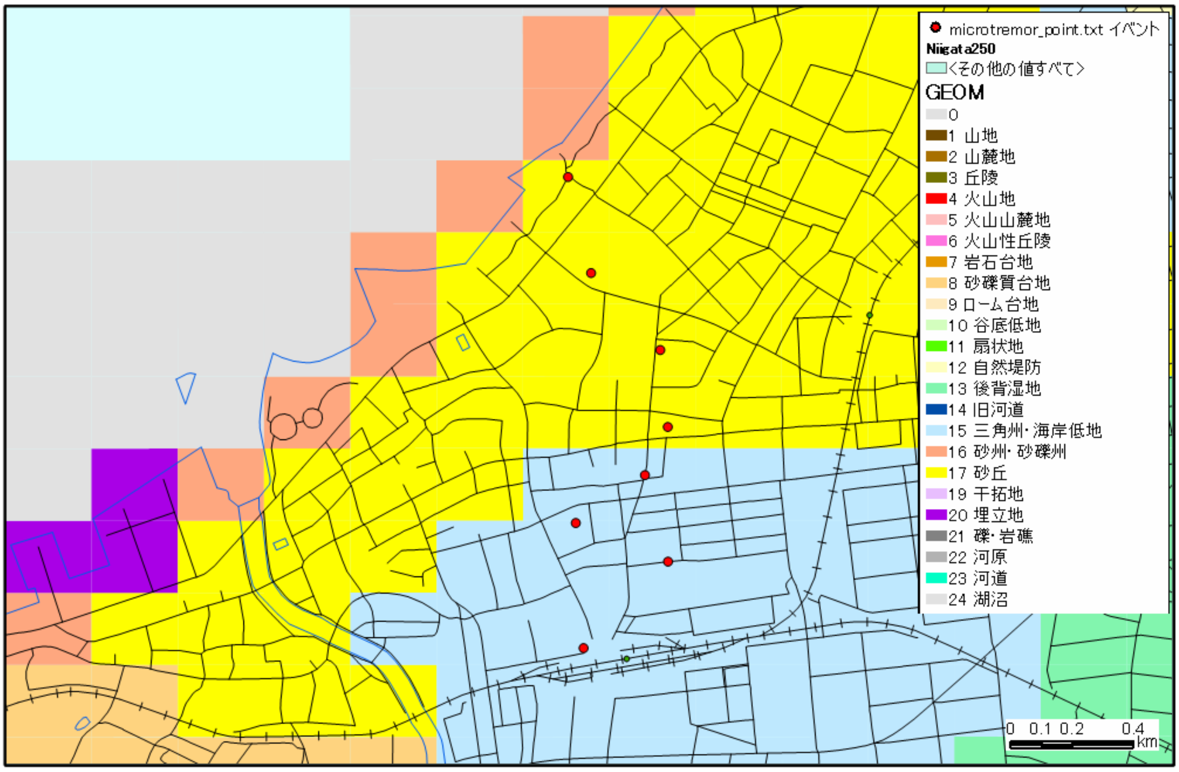

図 11　微地形分類と常時微動観測地点の位置関係

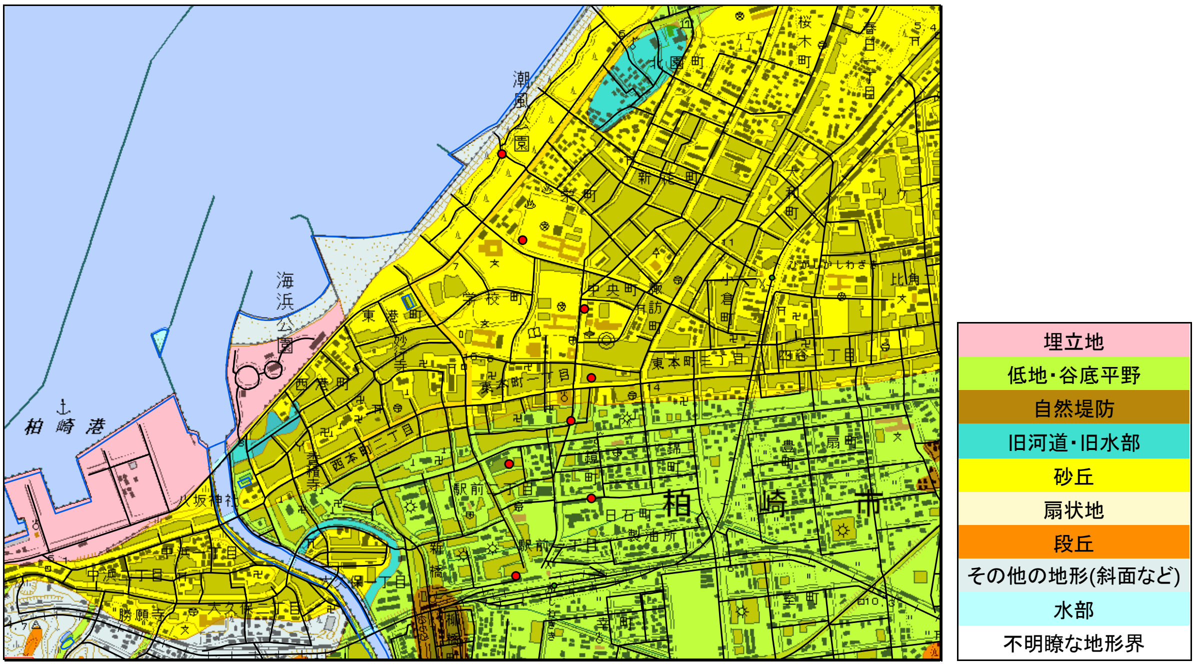

図 12　国土地理院が作成した土地条件図[5] と常時微動観測地点の位置関係

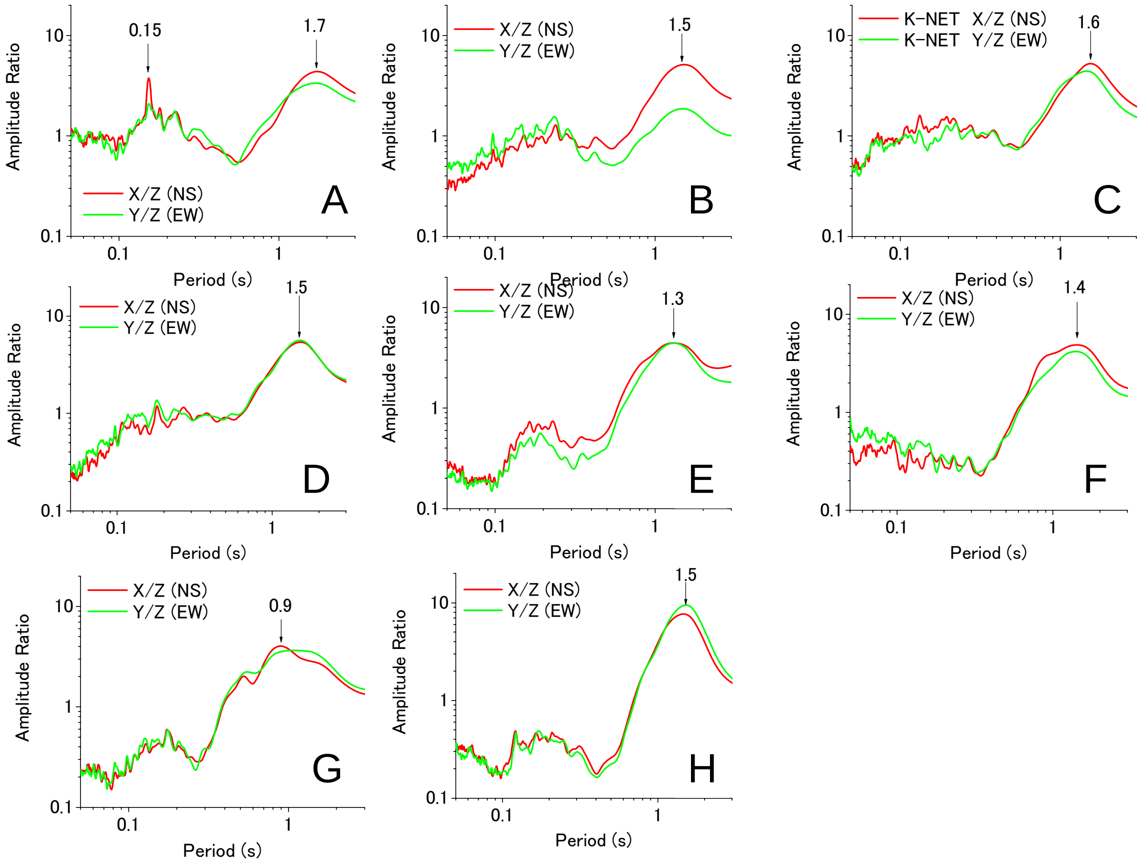

図 13　柏崎市中心部における常時微動の H/V スペクトル比

4) ライフライン被害のGIS統合データベース化

2007年新潟県中越沖地震によって生じたライフライン施設に関する被害のうち、とくにガス管、上水道管、下水道管の被害を収集し、GIS上でデータベース化した。ガス管、下水道管の被害に関しては緯度経度で整理されているが、上水道管の被害には被害データが住所で対応づけられている。そこで、CSVアドレスマッチングサービス[8)]によって緯度経度へ変換し、GISで管理できるようにした。

図 14 にガス管の被害の柏崎市中心部における分布状況を示す。低圧管の被害は、地形区分では砂丘と判断されている地点に多く見られている。中圧管の被害に関しては、砂丘にも生じているが三角州・海岸低地にも多く見られている。図15には、ガス管の被害に加えて下水道管の被害を併せて示す。ガス管の被害が柏崎市の西側で比較的多く発生しているのに比べて、下水道管の被害は柏崎市の東側に集中しているように見える。図16に、ガス管、下水道管の被害に加えて、上水道管の被害分布を併せて示す。上水道管の被害は柏崎市中心部に広く分布しているが、ガス管被害が集中してみられる柏崎市中央町（市役所周辺)、新花町など柏崎駅よりも北側の地区に多く発生している。このことから、新潟県中越沖地震に関してはガス管被害が発生する位置と上水道管の被害が発生する位置については何らかの関連性があるものと思われるが、詳細な検討は次年度以降行う予定である。

（株）パスコでは国際航業（株）と共同で 2007 年 7 月 18 日、19 日、24 日に撮影した空中写真を判読し、災害状況図を作成、公開している[9)]。図17に、全壊家屋、道路などの変状、液状化と判読された地点とライフライン埋設管被害箇所の分布を示す。家屋被害が多数発生した柏崎市東本町周辺では、上水道管の被害が多い。この地区は微地形分類によると、砂丘と三角州・海岸低地の境界部に位置しており地形効果によって震動が局所的に大きかったことも考えられるが、今後は 250mメッシュの広域データベースを用いるだけではなくより詳細な地形分類を調査する必要がある。家屋被害とライフライン埋設管被害の発生位置は、とくに上水道管の被害に関して概ね関連性のあるように見られる。また上下水道管に被害が生じている場合には、その周辺に液状化と空中写真で判読される痕跡が見られていることがある。

図 18 に、本研究で収集した新潟県中越沖地震による各種被害と数値地図 25000 の標高データの関係を示す。建物被害が多く発生した柏崎市東本町の標高は約10m程度以上であり、柏崎駅（南側）へ向かうにつれて標高は6m程度と低くなっている。柏崎市東本町は、砂丘と三角州の境界付近の砂丘の縁に位置する。このような場所では軟弱な沖積層の上に砂丘の砂が薄く乗っており、地震時に液状化や地盤の流動化が起こりやすいことが知られている[10)]。今後は、地形分類に標高データや地震動特性を組み合わせるなどして、各種被害位置の関連性について検討を行う予定である。

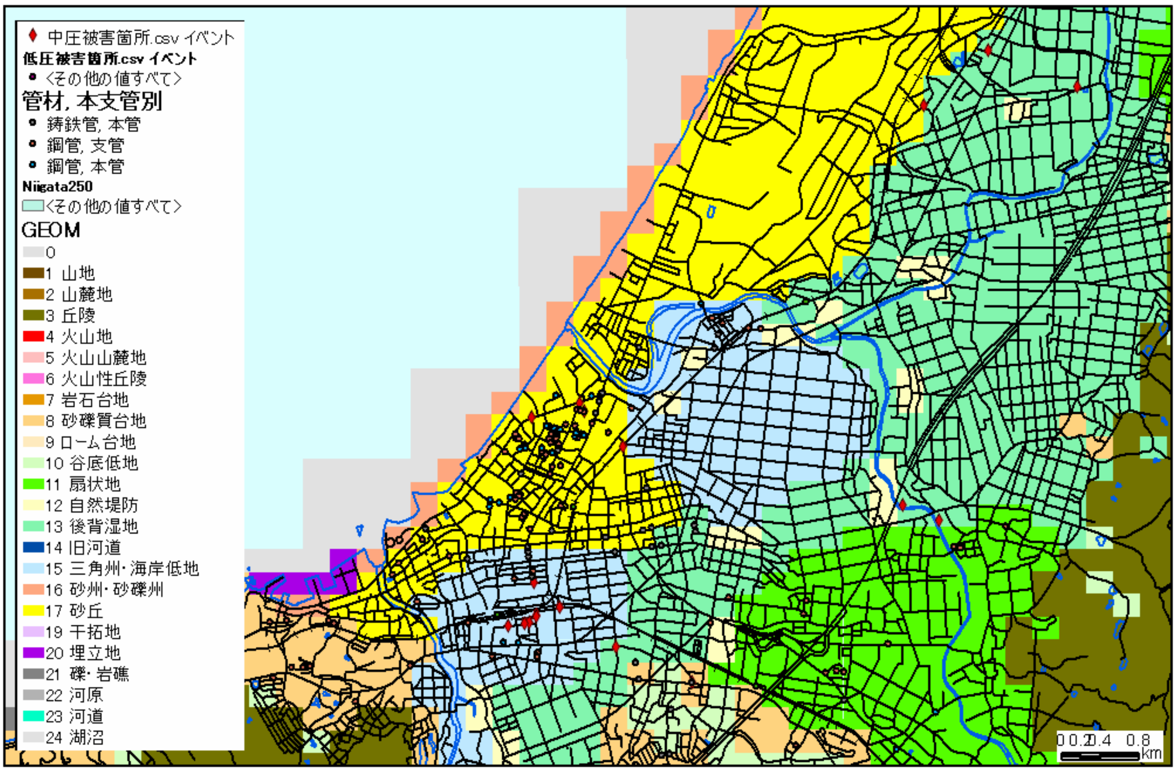

図 14　柏崎市中心部のガス管被害の分布

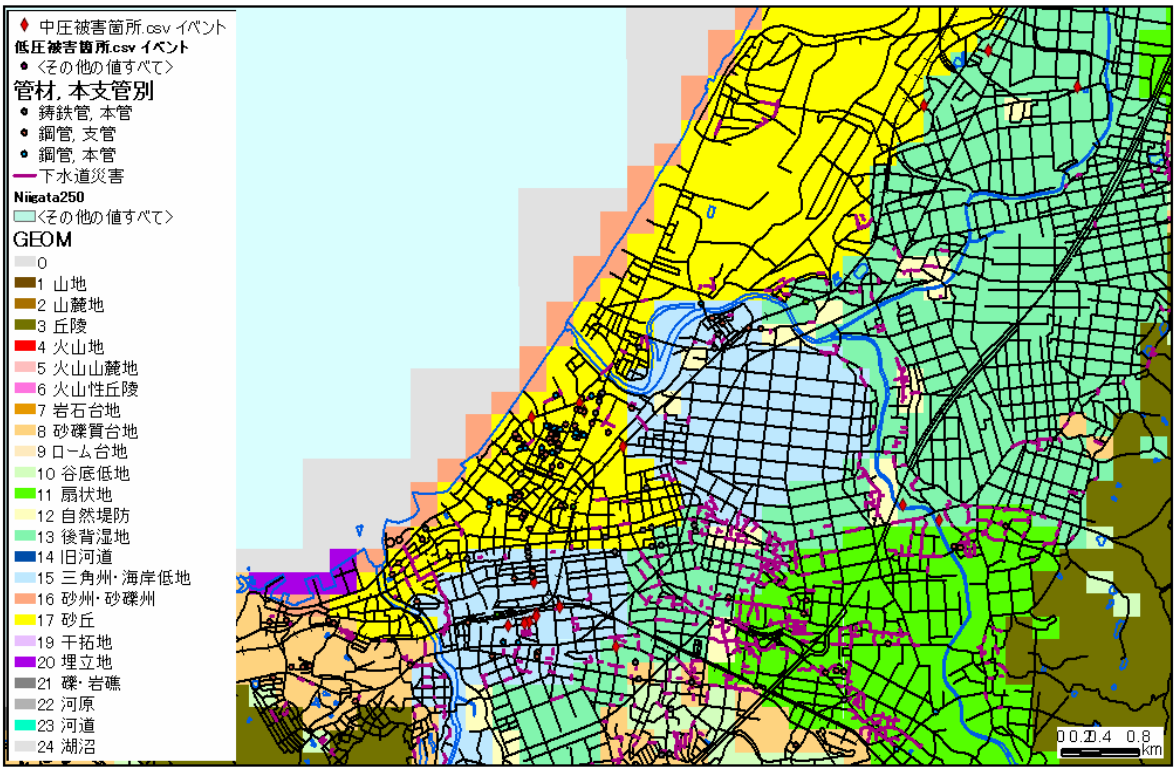

図 15　柏崎市中心部のガス管と下水道被害の分布

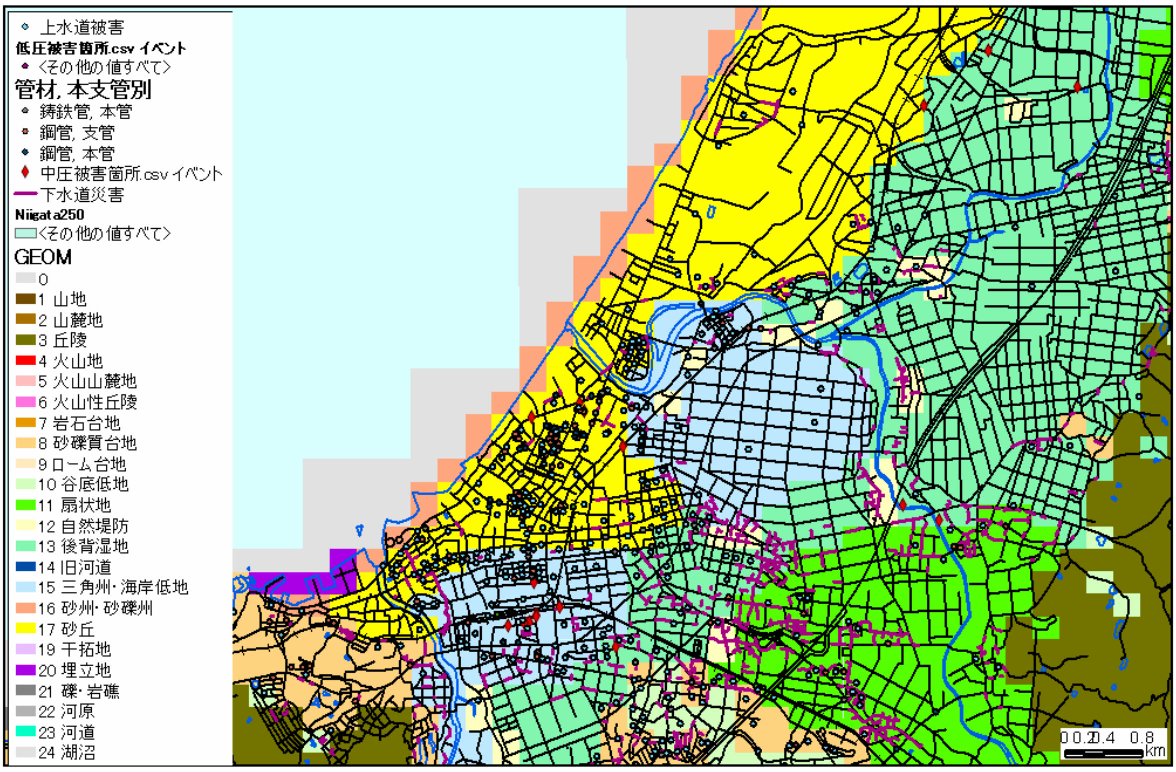

図 16　柏崎市中心部のガス管と上下水道被害の分布

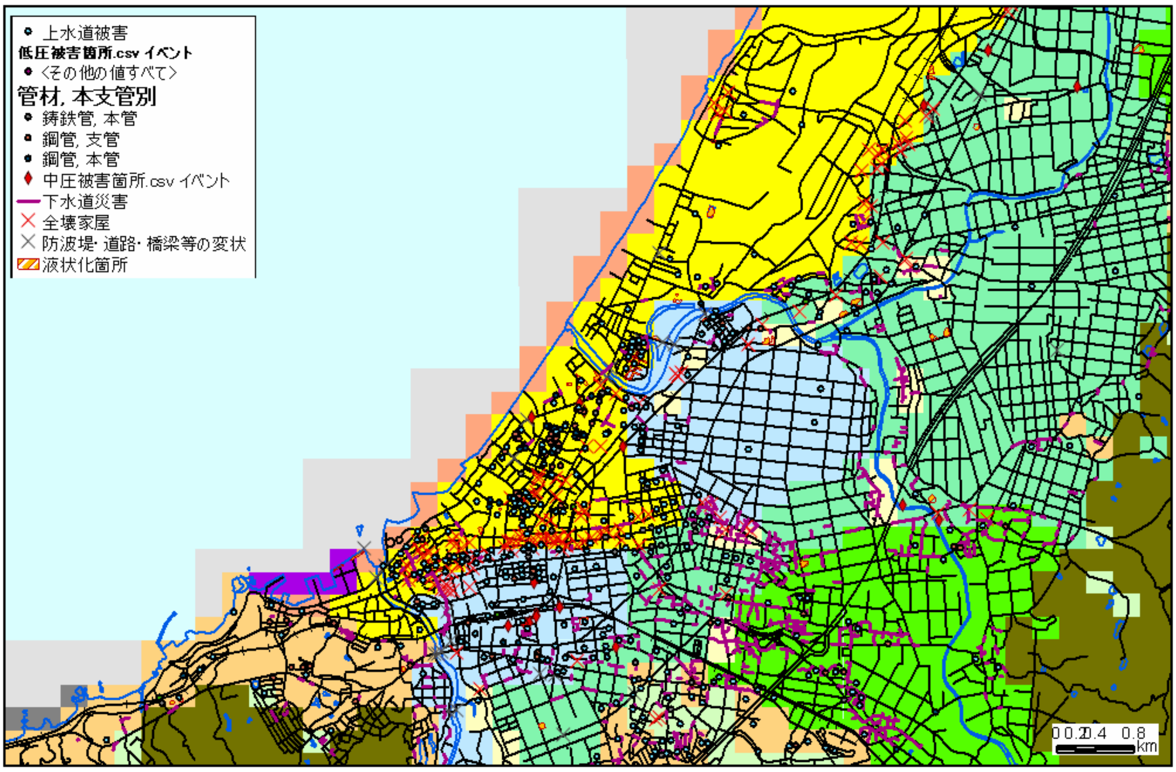

図 17　柏崎市中心部の災害状況図[9)]とライフライン埋設管被害位置の関係

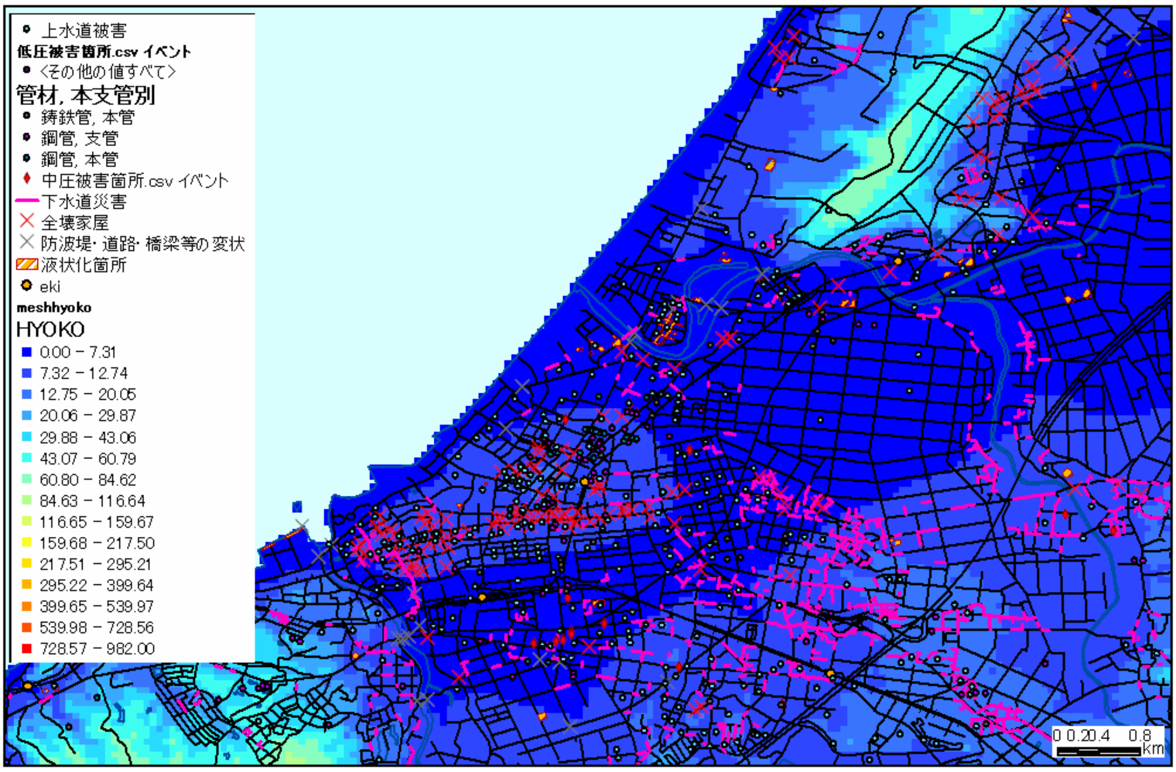

図 18　柏崎市中心部の各種被害箇所と標高の関係

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究では、2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震に関して、地震記録、地形分類図、ライフライン埋設管被害データ、住宅などの各種被害データを収集し統合して GIS 化した。これらの統合されたデータの分析を進めることで、災害時の被害波及構造のモデル化のための基礎的資料が得られるものと考えている。

柏崎平野の地震記録を分析すると、数値地図 25000 から取得した標高が約 10m 程度以下の比較的低地に位置している観測点では加速度応答スペクトルの周期約 2.0 秒付近にピークが見られる。微地形分類では柏崎平野の一部と同じ砂丘と分類されている柏崎刈羽原子力発電所のサービスホールは、標高が約 60m と高く応答スペクトルのピークを示す周期は短かった。旧西山町役場などは微地形分類によると丘陵地に位置しており、周期約 0.5 秒に加速度応答スペクトルのピークが見られた。柏崎市中心部で常時微動観測を実施した結果、地盤の卓越周期は概ね約 1.5 秒程度と推定された。このことから、柏崎平野の地盤はやや軟弱であるものと評価され、新潟県中越沖地震ではやや長周期の震動特性を示したものと考えられる。

ライフライン施設のとくに埋設管（ガス管、上水道管、下水道管）の被害データを収集し GIS 化し、被害位置の空間的な関連性を評価した。ガス管の被害は柏崎市の西側で比較的多く発生しているのに比べて、下水道管の被害は柏崎市の東側に集中しているように思われた。上水道管の被害は柏崎市中心部に広く分布しているものの、とりわけ柏崎市中央町（市役所周辺)、新花町などガス管被害が集中してみられる柏崎駅の北側の地区に多く発生している。このことから、新潟県中越沖地震に関してはガス管被害が発生する位置と上水道管の被害が発生する位置については何らかの関連性があるものと思われるが、詳細な検討は次年度以降行う予定である。

(d) 引用文献

1) 国土地理院：http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/index.html
2) 地震調査研究推進本部：http://www.jishin.go.jp/main/chousa/08jan_chuetsu_oki/index.htm
3) 若松加寿江、松岡昌志：大都市圏を対象とした地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築、第 27 回地震工学研究発表会講演論文集、CD-ROM、4p、2003.
4) 吉田望、後藤浩之、若松加寿江、福元俊一、三上武子：2007 年新潟県中越沖地震における K-NET 柏崎の観測波形について、http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/inform/chuetsuoki/k-net.pdf
5) 国土地理院：http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/0707-chuetsuoki/index.html
6) 若松加寿江、松岡昌志、久保純子、長谷川浩一、杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築、土木学会論文集, No.759／I-67, pp.213-232, 2004.
7) 中村豊：常時微動に基づく地震動特性の推定、鉄道総研報告、Vol.2、pp.18-27、1988.
8) CSV アドレスマッチングサービス：http://pc035.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/~sagara/geocode/
9) （株）パスコ：http://www.pasco.co.jp/disaster/detail/070720/
10) 国土地理院：http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H19-nigata/chikei.htm

(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	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
Experiments of Earthquake Early Warning to Expressway Drivers using Plural Driving Simulator （口頭発表）	山崎　文雄	2nd International Conference on Urban Disaster Reduction, Taipei, Taiwan	2007年11月	国外
新潟県中越地震における高速道路盛土の被害率と地震動強さの関係（口頭発表）	丸山　喜久	土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集、地盤工学会	2007年7月	国内
2005年福岡県西方沖地震における福岡市中央区舞鶴での地表面地震動の推定（口頭発表）	丸山　喜久	第29回土木学会地震工学研究発表会報告集、九州大学	2007年8月	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
なし				

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果	対応者氏名	報道・掲載機関	発表時期	国内・外の別
なし				

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 20 年度業務計画案

本年度は、近年の自然災害として 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。

具体的には、地形・地盤条件を考慮して地震動強さの空間分布を推定する。得られた地震動強さをもとに、埋設管被害と地震動、地盤条件、標高などの関係性を明らかにする。また、ライフライン施設に被害が生じた地点では PS 検層など詳細な地盤調査が行われている地点もあるので、そのような地点に関しては非線形応答解析を行うなど埋設管被害の発生メカニズムについて詳細な検討を行うことが可能である。さらに、ガス管、上水道管、下水道管の被害発生位置の空間相関性を検討し、ライフライン施設被害の連関性やそれが復旧活動に与える影響などを検討する。得られた結果は、想定される首都直下地震時のライフライン復旧シミュレーションにおける基礎的資料として活用できるものと期待される。