

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、ライフライン相互関連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。このため、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解明する。

(b) 平成21年度業務目的

平成19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、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、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な評価を行う。

また、南アフリカ・ケープタウンで開催される2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposiumに参加し、そこで得られた諸外国のライフライン事例を近年の国内の被害地震の事例と比較・検討することから、埋設管被害の空間相関性を把握する。

(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	准教授	丸山喜久	

(2) 平成21年度の成果

(a) 業務の要約

- ・2007年新潟県中越沖地震によって発生した各種地震被害を統合したGISを作成し、上下水道管、ガス管などの地中埋設管の被害、建物被害に関する罹災判定結果などについてとくに人工的な改変地形（切土、盛土）という観点から被害の発生要因を評価した。
- ・地震計が高密度に配備されている千葉市を対象に、地形・地盤状況、人工改変状況と地盤の卓越周期の関係を常時微動観測、地震記録の分析などを行い、定量的に評価した。
- ・2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposiumに参加し、外国人研究者と地震時のライフライン被害の特徴について議論した。
- ・新潟県中越沖地震の地震被害統合GISを用いて、埋設管被害の同時被害について分析を行い、被害の空間相関性を把握した。

(b) 業務の成果

1) 新潟県中越沖地震におけるライフライン被害の分析

2007年新潟県中越沖地震によって発生した各種地震被害を統合したGIS(図1)を作成し、上下水道管、ガス管などの地中埋設管の被害、建物被害に関する罹災判定結果¹⁾などについて地震動強さ、地形・地盤条件、人工的な改変地形(切土、盛土)という観点から被害の発生要因を評価した。地震動強さは、Simple Kriging法を用いた補間方法によって推定された地表面地震動強さ²⁾を、地形・地盤条件は若松・松岡³⁾が全国を統一的な分類法で整理した250mメッシュマップを使用した。

近年発生した大規模地震では、人工的に盛土・切土された改変地(人工改変地形)において地盤沈下、陥没などの地盤災害が発生し、建物、道路、地下埋設管などのライフライン施設に大きな被害を及ぼしていることが報告されている。一般に、長い地球の営みにより形成された自然地形と比べて、人工改変地形の盛土部は緩く低密度であるので、相対的な地盤条件の違いが地震時の地盤災害をもたらすものと考えられている。このことは兵庫県南部地震、新潟県中越地震など過去の被害地震の際に、被災地域の旧地形図と現地形図から人工改変状況を読み取るなどして主として定性的に示されている。

旧地形の3次元データベース化に関する取り組みは盛んであり、とくに終戦直後に米軍によって撮影された航空写真の利用は面的に人工改変地形を把握するのに有効であると考えられている。国土地理院では、国土変遷アーカイブとして航空写真のデジタル化を進めている。航空写真とデジタル図化機を用いて標高データを作成することも試みられており、旧地形と現地形の差分を取ると条件が良ければ高さ1-2m、広さ5m²程度の小規模な人工改変地形も抽出可能であることが分かっている⁴⁾。

図2は、国土地理院が作成した柏崎市の一部地域(半田1,2丁目、茨目2丁目、希望が丘、朝日が丘、向陽町、下軽井川、佐藤池新田)の人工改変地形を抽出した結果である。本研究で収集した地中埋設管データおよび新潟県中越沖地震による埋設管被害個所も併せて示している。図中の差分は旧地形と現地形の標高差を示しており、標高差が負の場合は切土、標高差が正の場合は盛土されたことを示している。旧地形と現地形の標高差から、切土と盛土の境界線を手動で抽出し、図2に併せて示している。

図2のうち切土、盛土境界部を拡大してみると、図3のように人工改変地形を貫く地中埋設管には地震被害個所が比較的多いように思われる。このことは、盛土と切土の震動特性が異なり、埋設管路の継ぎ手に大きな負荷がかかったのではないかと想像される。そこで、柏崎市の人工改変地形がえられている地域(図4)で常時微動観測を実施し、地盤の卓越周期をH/Vスペクトル比⁵⁾により推定した。図5(a)におよそ6mの盛土高を示している地点(半田1)とおよそ10m程度の切土地点(半田8)における常時微動のH/Vスペクトル比を示す。半田1の卓越周期は約0.44秒、半田8の卓越周期は約0.3秒と推定される。両地点はおよそ80m程度しか離れていないが、切土地形と盛土地形から構成されている地域であるため、せまい範囲でも地盤の卓越周期に違いがみられるものと考えられる。図5(b)に、この区間での常時微動のH/Vスペクトル比から推定される地盤の卓越周期と切盛高さの関係を示す。切盛高さと地盤の卓越周期には、決定係数はやや小さいものの、全体としては盛土高が大きくなるにつれて卓越周期が長くなる傾向があることが確認される。

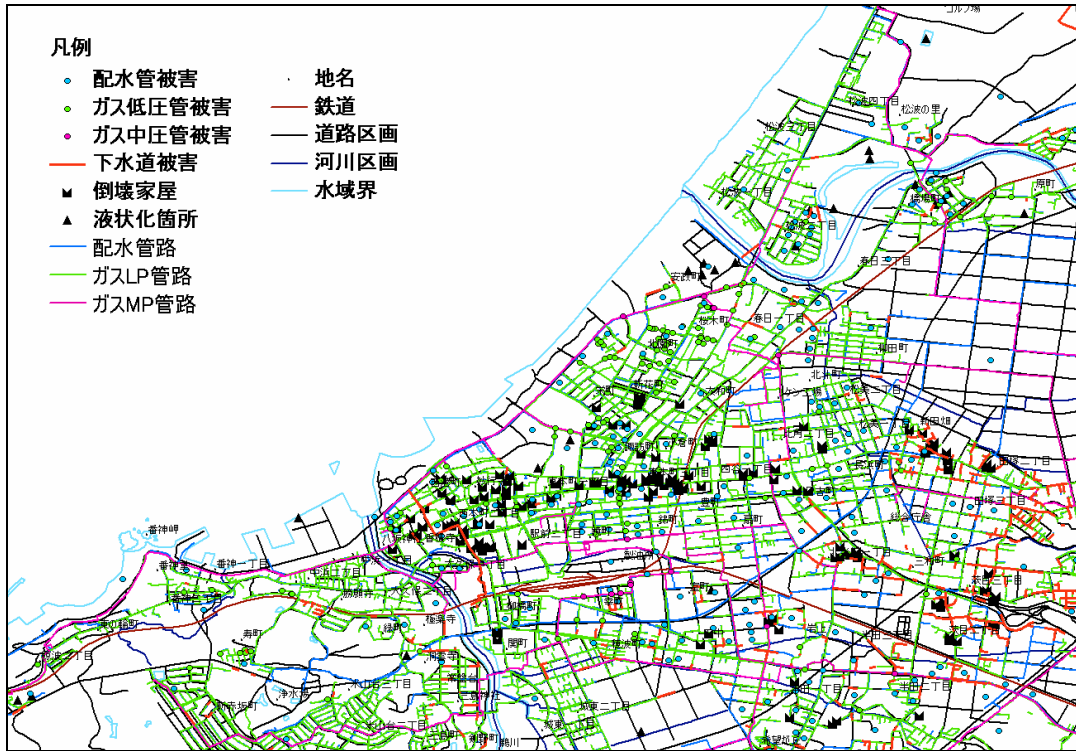


図1 柏崎市における各種データの統合 GIS

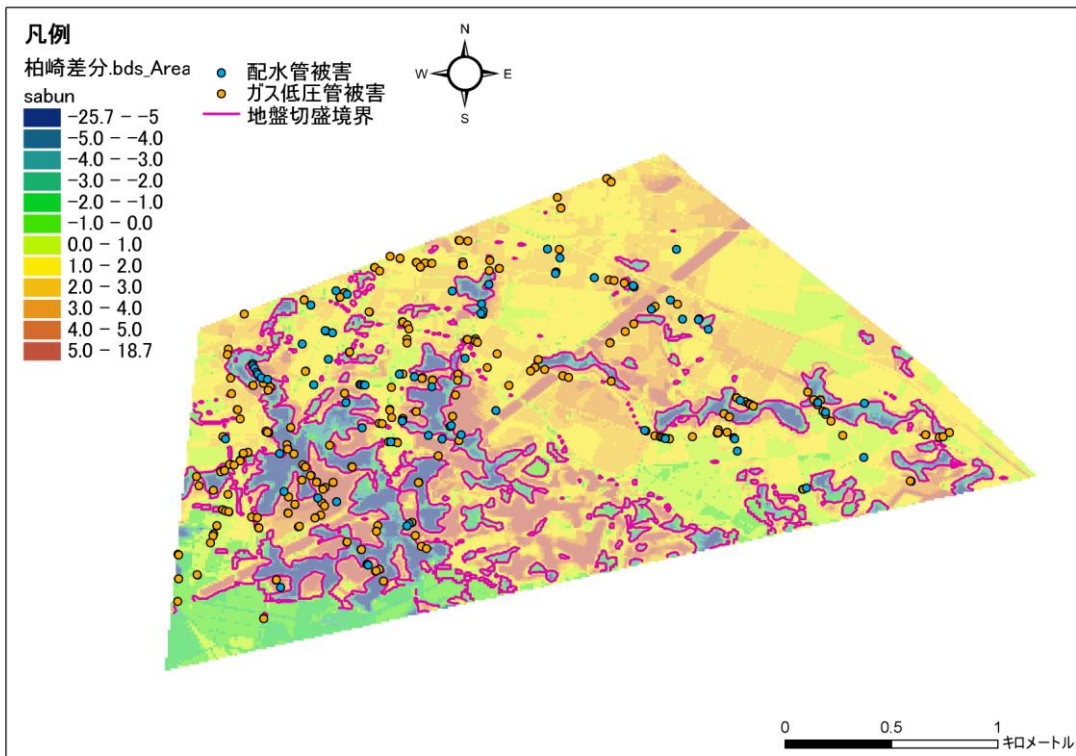


図2 柏崎市一部地域の人工改変地形と埋設管データ

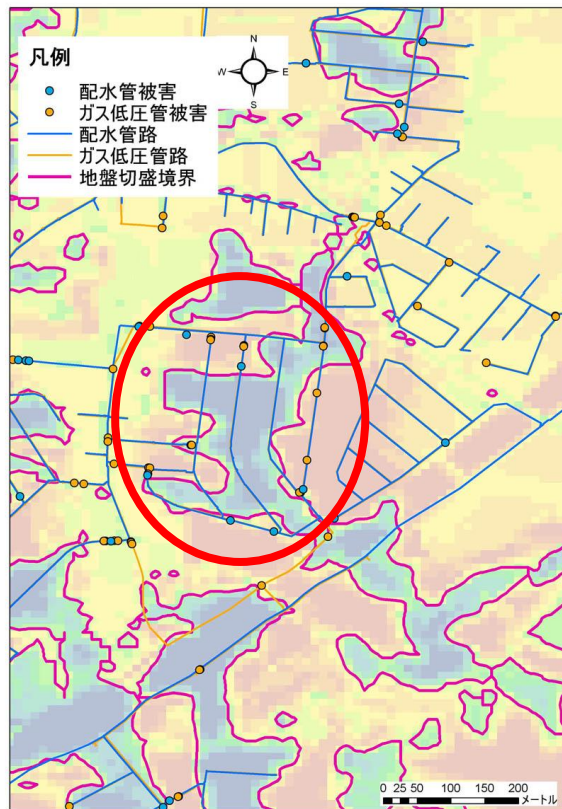


図3 人工改変地形の拡大図

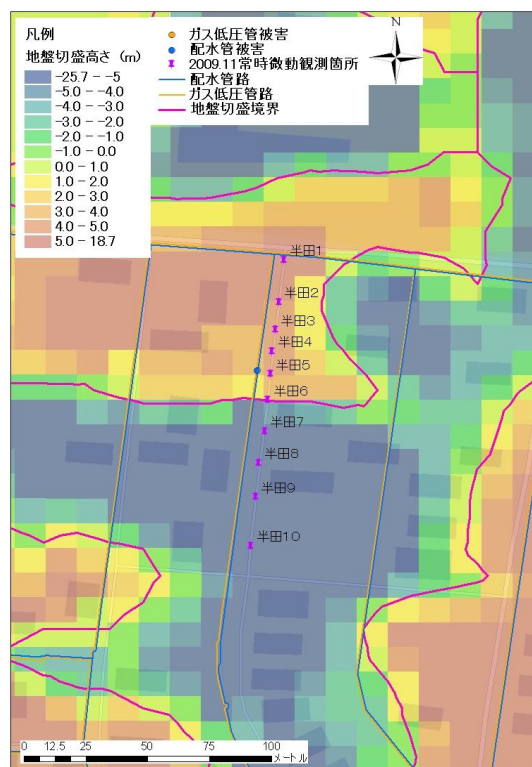
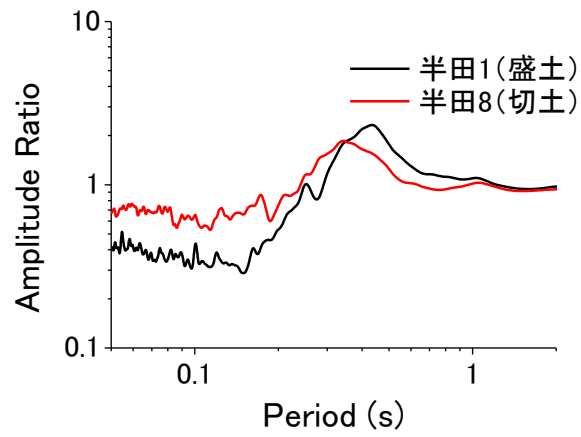
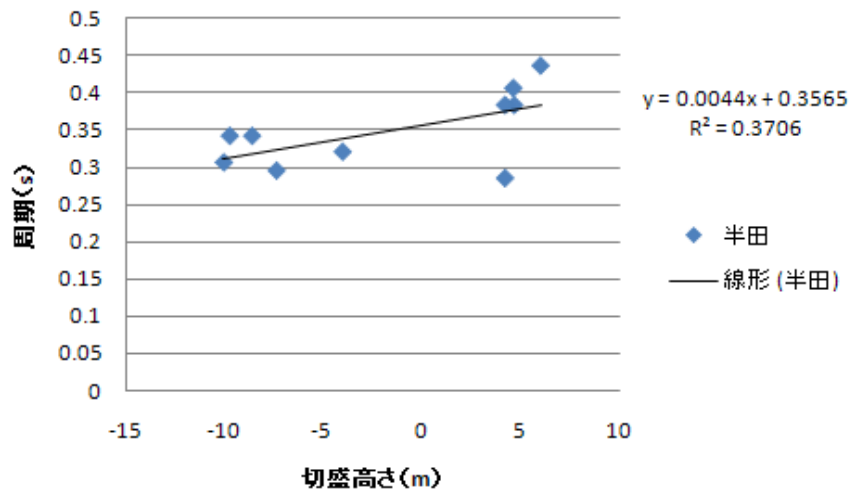


図4 柏崎市南半田での常時微動観測点



(a) 常時微動の H/V スペクトル比



(b) 切盛高さと地盤の卓越周期の関係

図 5 柏崎市半田周辺の常時微動の H/V スペクトル比と地盤の卓越周期

2) 千葉市における地形・地盤条件、人工改変地形と地震動強さの関係

前項の柏崎市における地中埋設管の地震被害と人工改変地形の関係に関する評価では、盛土、切土の影響による地盤の卓越周期の影響が示唆されたが、地震計が高密度に配備されている地域ではないため、地形・地盤条件、人工改変地形が地震動にどのような違いをもたらすかを検討することが難しい。そこで本研究では、東京ガス（株）が地震計を高密度に配備⁶⁾している千葉市を対象に検討を行う。

2005年7月23日に発生した千葉県北西部地震では、ライフライン、鉄道、エレベータなど、様々な都市インフラに機能停止などの影響を及ぼした。東京ガスの供給エリア内でも、多くの需要家のマイコンメーターが地震を感知して、自動的にガス供給を遮断した⁷⁾。図6に、千葉市の一部地域の標高と東京ガス（株）の小仲台7丁目（標高約20m）、小仲台5丁目（標高約20m）、園王第3（標高約10m）観測点で観測された地震動の加速度応答スペクトルを示す。なお、標高データは3次元GISデータであるMAP CUBEの地盤高を用いた。これら3つの地震観測点は数100mの距離であるが、台地の上位面にある小仲台7丁目、小仲台5丁目と谷地形に位置する園王第3では加速度応答スペクトルの形状に大きな違いがみられる。小仲台の2観測点では周期約0.2秒に加速度応答スペクトルのピークがみられるが、園王第3は約1.0秒にピークが存在し、地形が地震動の周期特性に大きな影響を与えているものと考えられる。標高と常時微動および地震動のH/Vスペクトル比から推定された地盤の卓越周期の関係（図7）を見ると、狭い地域については標高と地盤の卓越周期には関係があるように判断され、谷地形などに代表されるような標高の低い地点で卓越周期が長くなる傾向が見られる。

国土地理院では、千葉市稲毛区、花見川区の一部地域において人工改変地形データを作成している（図8）。図中の丸印で示している千葉市花見川区さつきが丘には、東京ガス（株）の地震計が設置されており、約14cm/sのSI値が観測されている。図9に、地震動の加速度応答スペクトル（水平2方向合成値）と常時微動のH/Vスペクトル比を示す。加速度応答スペクトルのピークと常時微動のH/Vスペクトル比から推定される卓越周期はともに約0.3秒と考えられる。また、加速度応答スペクトルには周期約1.0秒にもピークが存在している。さつきが丘において、人工改変地形が地盤の卓越周期に与える影響を把握する目的で高密度に常時微動観測を実施した。常時微動のH/Vスペクトル比を図10に示す。常時微動観測点は互いに100m程度しか離れていないが、3.4m程度の盛土高を示している地点では卓越周期が約0.52秒と他の地点よりも長い値を示している。また、4.6m程度切土された地点については、平坦なスペクトル比が得られており固い地盤であることが推察される。

このように、地盤震動特性には地形・地盤条件に加えて、盛土、切土などの人工改変状況も一つの影響因子であることが考えられる。前項での柏崎市での分析結果では、震動特性が異なると考えられる人工改変地で地中埋設管の被害が多いように思われたこともふまえると、人工改変地を適切に抽出することは被害予測精度を向上させることにもつながると期待される。

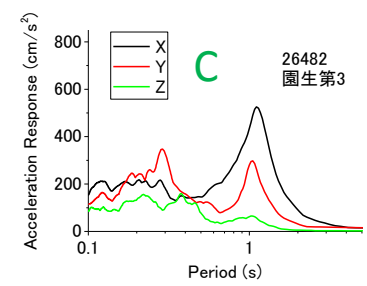
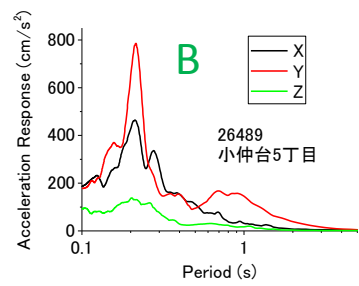
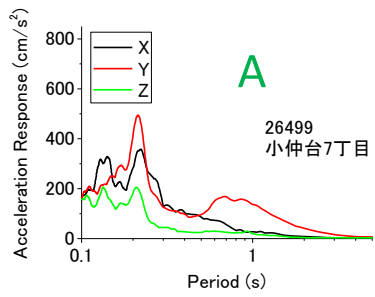
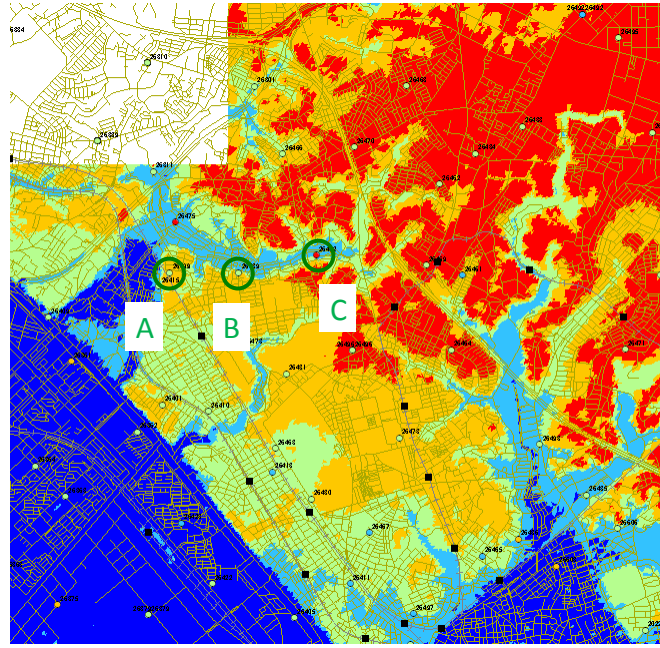


図6 千葉市小仲台周辺の標高と千葉県北西部地震における加速度応答スペクトル (5%減衰)

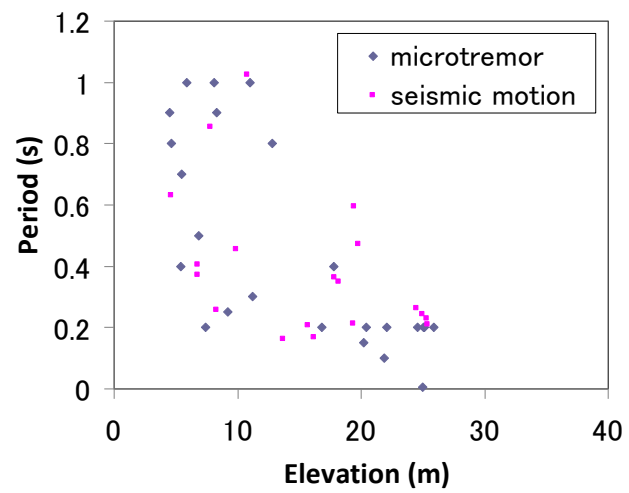


図7 千葉市における標高と地盤の卓越周期の関係

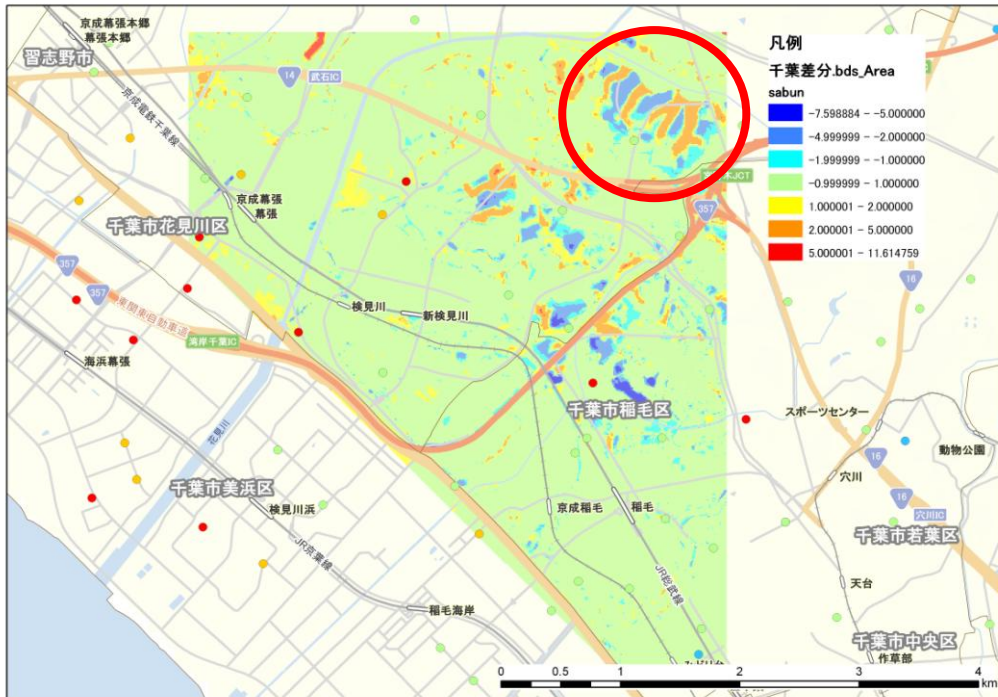


図 8 千葉市稲毛区，花見川区の人工改変地形

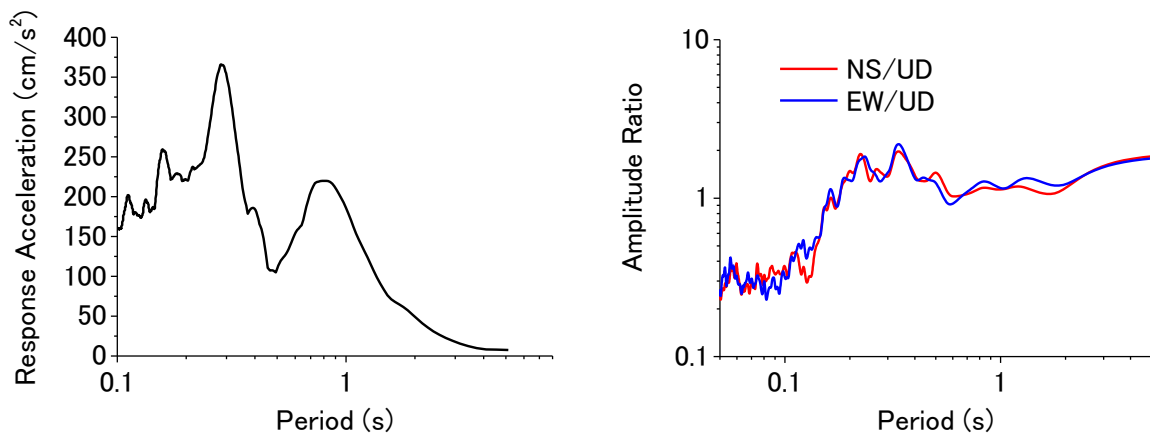


図 9 さつきが丘における地震動の加速度応答スペクトル（5%減衰）と常時微動の H/V スペクトル比

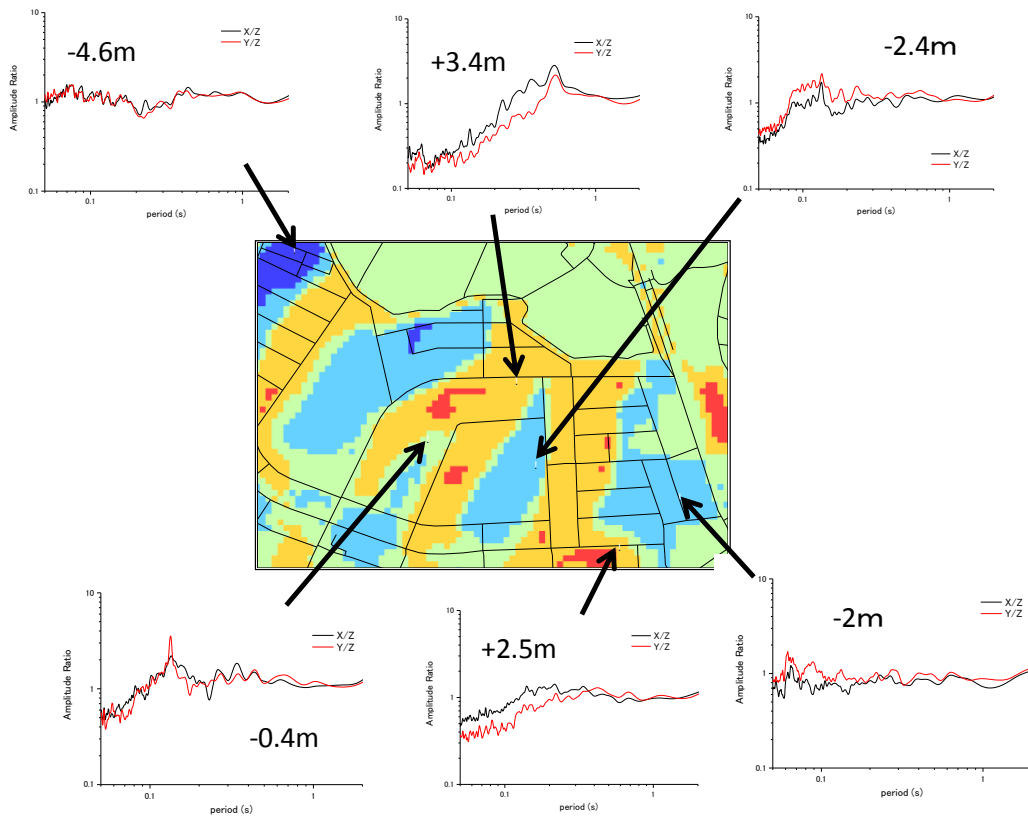


図 10 さつきが丘における常時微動の H/V スペクトル比

3) 埋設管被害の空間相関性

地震による埋設管の同時被害は過去の事例として多々報告されており、復旧活動の遅延につながる場合も見られる。例えば、水道管とガス管が近い場所で破断した場合、ガス管に水が入り込んでしまい、その後のガスの復旧に支障をもたらすこともある。この現象は差し水と呼ばれ、2004年新潟県中越地震では小千谷市、川口町で差し水が多数発生し、ガスの復旧活動が長期化する一因となった。

ライフラインの被害予測は各都県の地震被害想定などで実施されているが、1kmまたは250mメッシュ単位で行われる場合が多い。図1に示した統合GISで図11に示すような方法で各埋設管被害の最短距離を算出することで各埋設管被害の空間的な相互相関性を評価する。その結果を表1にまとめる。ガス低圧管被害の約85%が250m以内に配水管被害を有している。同様に配水管被害の53%がガス低圧管被害を250m以内に有しているので、首都圏で広域に整備されている250mメッシュのデータを用いて復旧シミュレーションを行う際には差し水による長期化の影響を適切に考慮する必要がある。

また、上水道のみが復旧しても下水道管が使用不可であれば水道は使用できないため、上水道管と下水道管の復旧は互いに強く関連していると言える。新潟県中越沖地震の際には、配水管の約8割が250m以内に下水道管の被害を有しており、これらの埋設管の相互関係を考慮した復旧シミュレーションを実施する必要がある。

4) 2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 参加報告

2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposiumに参加し、ライフライン地震被害の状況を把握するためのGIS構築に向けたリモートセンシング画像の処理結果について発表し、外国人研究者と地震時のライフライン被害の特徴について議論した。各ライフライン被害を本研究で構築したような統合GISで一括に評価した例は少なく、新潟県中越沖地震の事例から各ライフライン被害の空間的な位置関係を評価することはライフライン被害の復旧シミュレーションの基礎資料として貴重であることが伺えた。さらに、シンポジウムに参加し得られた情報をもとに、GISの計算アルゴリズムを見直し、ライフライン地震被害の空間相関性に関する結果を見直すことができた。

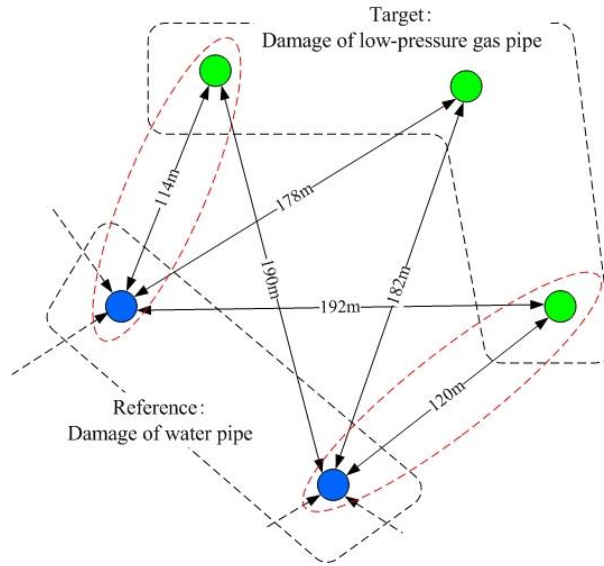


図 11 埋設管被害の最短距離算出方法の概念図

表 1 各被害箇所から半径 250m 以内に被害が発生している割合(%)

Target Reference	Water pipes	Low-pressure gas pipes	Mid-pressure gas pipes	Sewage lines	Liquefaction	Collapsed houses
Water pipes	87.0	53.2	11.0	76.7	16.4	31.4
Low-pressure gas pipes	85.4	82.2	19.0	72.8	22.2	27.8
Mid-pressure gas pipes	65.4	34.6	28.0	61.5	19.2	3.8
Sewage lines	61.6	26.4	4.8	97.7	8.6	14.9
Liquefaction	46.4	35.7	12.5	62.5	57.1	3.6
Collapsed houses	93.8	63.3	2.4	92.4	5.2	99.0
	100-90%	90-80%	80-70%	70-60%	60-50%	50-

(c) 結論ならびに今後の課題

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った。その結果、人工改変地形（盛土、切土）を貫く地中埋設管には地震被害個所が比較的多いように思われた。常時微動のH/Vスペクトル比から推定された地盤の卓越周期は切盛高さと正の相関があることが確認され、盛土と切土の震動特性が異なり、埋設管路の継ぎ手に大きな負荷がかかったと考えられる。なお、地震計が高密度に配備されている千葉市でも人工改変地形の震動特性の推定を行い、柏崎市での検討と同様のことが示唆された。

2009 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposiumに参加し、外国人研究者と地震時のライフライン被害の特徴について議論したところ、各ライフライン被害を本研究で構築したような統合GISで一括に評価した例は少なく、新潟県中越沖地震の事例は貴重であることが伺えた。今後は、本地震の被害分析で得られた埋設管の同時被災に関する知見を復旧シミュレーションにモデル化して取り入れることが課題である。

(d) 引用文献

- 1) 災害支援電子ポータル：<http://emc.nhdr.niigata-u.ac.jp/20070716chuetsu-oki/gis/>
- 2) Mizuno, K., Maruyama, Y., Yamazaki, F., Tsuchiya, Y., and Yogai, H.: Construction of the Fragility Curves of Expressway Embankment Based on Actual Earthquake Data, *Proceedings of the 11th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction*, Paper No. B07-46, CD-ROM, 6p, 2008.
- 3) 若松加寿江, 松岡昌志：地形・地盤分類 250m メッシュマップ全国版の構築, 日本地震工学会大会-2008 梗概集, pp.222-223, 2008.
- 4) 国土地理院：国土交通省総合技術開発プロジェクト「高度な画像処理による減災を目指した国土の監視技術の開発」, <http://gensai.gsi.go.jp/committee/>
- 5) 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.
- 6) Shimizu, Y., Yamazaki, F., Yasuda, S., Towhata, I., Suzuki, T., Isoyama, R., Ishida, E., Suetomi, I., Koganemaru, K., and Nakayama, W.: Development of real-time control system for urban gas supply network, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*; ASCE, Vol. 132, No. 2, pp. 237-249, 2006.
- 7) 矢野嘉久, 丸山喜久, 山崎文雄, 山内亜希子, 菜花健一：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, 土木学会論文集 A, Vol. 64, No. 2, pp. 248-257, 2008.

(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
Characteristics of Shadow and Removal of Its Effects	F. Yamazaki, W. Liu, M.	Proceedings of the IEEE 2009	2009年7月	国外

for Remote Sensing Imagery	Takasaki	International Geoscience and Remote Sensing Symposium		
2007年新潟県中越沖地震における埋設管被害の空間特性（口頭発表）	君島康太, 丸山喜久, 山崎文雄	土木学会第64回年次学術講演会（福岡大学）	2009年9月	国内
千葉県における東京湾北部地震後の道路交通シミュレーションに向けた基礎検討（口頭発表）	丸山喜久, 胡内健一, 奥野潤, 山崎文雄	相互連関を考慮したライフライン減災対策に関するシンポジウム	2009年12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
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	君島康太, 丸山喜久, 山崎文雄	土木学会地震工学論文集, Vol. 30, pp. 614-621	2009年12月	国内
近年の地震被害データを加味したマクロな配水管被害予測式の改良	丸山喜久, 山崎文雄	土木学会地震工学論文集, Vol. 30, pp. 565-574	2009年12月	国内

マスコミ等における報道・掲載

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

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成22年度業務計画案

平成21年度までの研究成果を踏まえて、中央防災会議が想定している東京湾北部地震などが起こった際の地中埋設管被害や道路被害を1都3県（東京、神奈川、千葉、埼玉）で

マクロにかつ統一された手法で算定し、迅速な復旧に必要と見込まれる部隊数を評価する。
また道路被害が影響する復旧活動の遅延時間を評価し、適切な広域連携のあり方を考える
ための基礎資料を作成する。