

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月22日現在

機関番号：92604

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21310122

研究課題名（和文）重要ライフラインの相互依存関係を考慮した災害発生時の復旧過程解析手法に関する研究

研究課題名（英文）A study on evaluation method of the disaster restoration process of critical lifelines considering their interdependence

研究代表者

永田 茂（NAGATA SHIGERU）

鹿島建設株式会社・技術研究所・上席研究員

研究者番号：50217999

研究成果の概要（和文）：近年発生した地震災害及び大規模事故発生時の重要ライフライン・インフラに関して復旧過程の相互依存関係の実態調査を行い、分析に必要なデータの収集・整理分析を行った。また、実態調査結果に基づいて、メッシュでモデル化した複数ライフラインに関して相互依存性を考慮した機能復旧過程の定量的かつ実務的な解析手法を構築するとともに、首都直下地震などを対象とした事例解析を通じて提案手法の有効性に関する検討を行った。

研究成果の概要（英文）：We investigated the damage of the critical lifelines by earthquakes and large-scale accidents as well as their restoration processes considering their interdependence. Based on a method that we had already developed to evaluate the restoration process for a single lifeline function, we expanded it in order to practically and quantitatively consider the interdependence among plural lifelines such as electricity, waterworks and sewer. In addition, we illustrated with a case study for Tokyo metropolitan earthquake that recovery can be delayed in some area in case of taking inadequate restoration processes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011年度	2,700,000	810,000	3,510,000
総計	11,400,000	3,420,000	14,820,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム、自然災害科学

キーワード：自然災害・地震・ライフライン・復旧・相互依存・防災・減災

1. 研究開始当初の背景

大規模地震の発生時に予想される重要ライフライン・インフラの広域かつ長期間に及ぶ被害を効率的に復旧することは、機能的被害波及による2次被害の発生を抑止・低減するほか、市民生活の復旧・復興や行政・企業の事業・サービスの継続性の向上に多大な貢献をすることは過去の地震災害により明らかになっている。また、2006年8月首都圏広域停電事故では、広い範囲の社会機能に甚大な

影響を与えることになり、機能的被害波及の適切な把握と共に復旧期間を最短化させるための対策の立案が求められている。

このような背景から、重要ライフライン・インフラ間の機能被害波及を考慮した復旧過程の定量的かつ実用的な解析方法の構築が求められている。

2. 研究の目的

過去に実施されたライフライン間の相互

依存関係の解明を目的とした研究としては、「物理的被害波及」、「機能的被害波及」、「復旧支障」などの観点から重要ライフライン間の機能的被害波及構造を過去の被害事例などを参考にして理想的かつマクロな数値モデルで表記したものや、専門家によるブレインストーミングやアンケート調査に基づく相互依存関係の定性的なモデル化に留まっている。

本研究では、研究代表者らが取り組んできた、基準地域メッシュを活用した単一ライフラインの地震被害予測及び復旧過程の解析手法を発展・拡大させることにより、複数のライフライン間の相互依存性を考慮した機能復旧過程の定量的かつ実務的な解析手法に関する研究を行う。また、機能復旧過程に着目した事例解析を実施することにより、地震災害や大規模事故などの発生時の社会機能維持のための対策立案への適用可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 地震災害及び大規模事故発生時の重要ライフライン・インフラ間の相互依存関係の検討

過去の地震被害についてインフラ・ライフラインの機能的被害波及の時間的・面的な広がり方と復旧過程を定量的に調査・整理する。また、過去に発生した大規模停電事故などの実態調査を行うことにより、機能的被害波及範囲の広い電力などが被災した場合に関して、機能的被害波及の時間的・面的な広がり方と復旧過程を可能な限り定量的に整理する。

(2) 重要ライフラインの相互依存性を考慮した機能復旧過程の解析手法に関する研究

地震災害時の電力、上水道、下水道を対象として、これらの相互依存関係を考慮した復旧過程（電力・上水道・下水道の相互依存関係を考慮した面的、時間的な復旧状況）の定量的解析手法を検討する。解析手法の検討では、上記(1)で実施する重要ライフライン・インフラ間の相互依存関係の実態調査結果に加え、研究代表者らが提案してきた地域メッシュモデルに基づく復旧過程解析手法に関する研究成果を活用する。

(3) 大規模地震災害に対する重要ライフラインの脆弱性評価

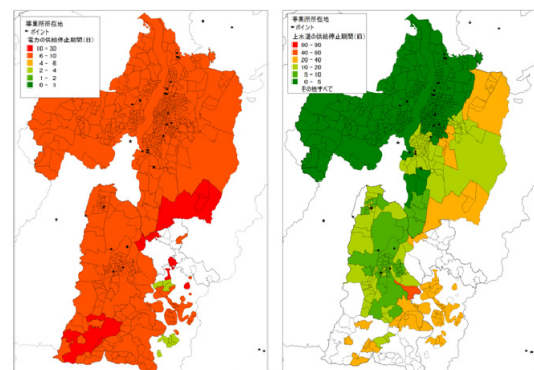
今後の大きな社会問題のひとつとなっている首都直下地震などを対象として、重要ライフラインの相互依存性を考慮した機能復旧過程の事例解析を実施する。事例解析結果を用いることにより、特定のライフラインの脆弱性が他のライフラインに与える影響の抽出方法を検討し、今後の災害・事故等に対する被害軽減策の策定支援への適用可能性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 地震災害及び大規模事故発生時の重要ライフライン・インフラ間の相互依存関係の実態調査

1995年阪神淡路大震災、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2008年岩手県沿岸北部地震、2009年駿河湾を震源とする地震、2011年東日本大震災などの地震災害を対象にして、電力・上下水道・都市ガスなどのライフライン間の機能的被害波及の時間的・面的な広がり方、機能的被害の復旧過程を可能な限り定量的に調査し、調査結果は主に町丁大字単位の地図情報として整理した。図1には、新潟県中越沖地震の調査結果に基づく停電、断水期間の詳細な面的分布の作成結果の一例を示した。また、図2には、調査結果から得られた計測震度と機能支障日数の関係と計測震度を用いた機能支障日数の予測モデルの一部を示した。これまでライフラインの復旧過程に関する検討を行う際には県・市単位のマクロな復旧データを使用するのが一般的であったが、本調査によって町丁字界単位の詳細なデータが収集・整理できたことから、地域特性を踏まえた詳細な分析が可能となった。

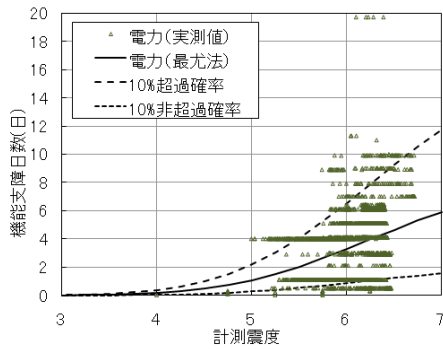
ライフライン・インフラ間の相互依存関係の調査として2005年新潟大停電（豪雪に起因）、2006年首都圏大停電（事故に起因）に関して停電による鉄道運行への影響波及の時間的・面的な広がり方と復旧過程を調査した。調査結果は各路線の駅間単位の地図情報として整理し、解析モデルの基礎データを作成した。図3、図4には停電範囲と運行停止状況を示し、図5には地域の停電件数と運行支障の復旧過程を示した。停電による鉄道運行への影響は地域によって異なり、首都圏では影響人口が非常に多くなるが、地方では影響範囲、影響時間が大きくなる傾向を確認することができた。地域特性を踏まえた災害・事故対策において有用な情報を提供できるものとする。



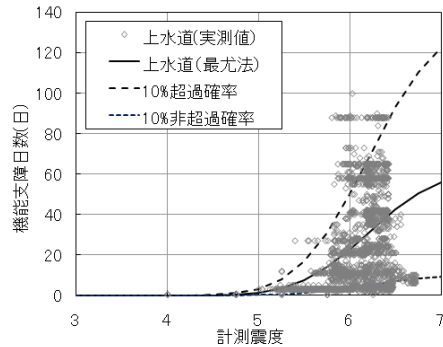
(a) 停電期間

(b) 断水期間

図1 機能支障日数の調査結果（2004 新潟県中越地震 旧長岡市、小千谷市、旧川口市）



(a) 電力



(b) 上水道

図2 過去の被害地震におけるライフラインの機能支障日数の実態とそれを用いた予測式

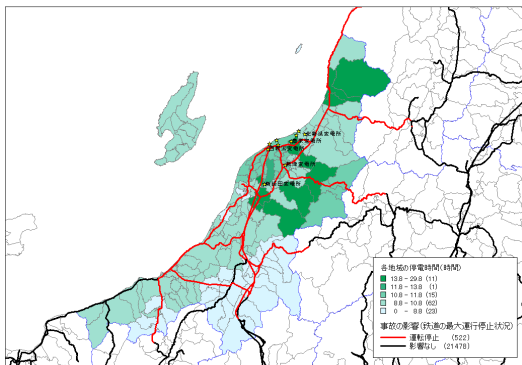


図3 2005年新潟大停電の鉄道運行への影響

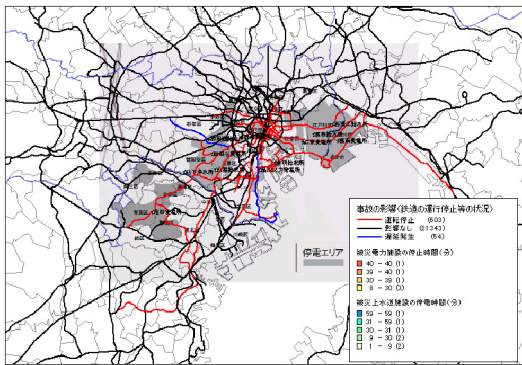


図4 2006年首都圏大停電の鉄道運行への影響

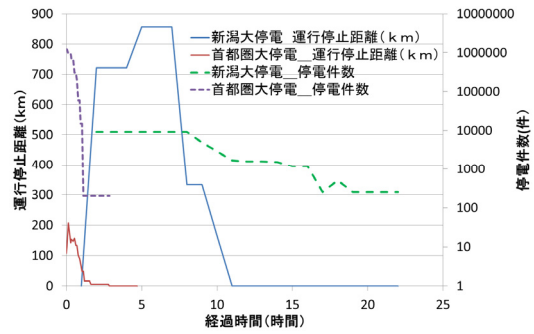


図5 2005年新潟大停電及び2006年首都圏大停電における停電件数と鉄道運行支障の相互連関

(2) 重要ライフラインの相互依存性を考慮した機能復旧過程の解析手法に関する研究
 地震災害による電力・上水道・下水道の相互依存性を考慮した応急復旧過程の解析手法に関する研究では、研究代表者らがこれまでに提案してきた基準地域メッシュモデルに基づく復旧過程解析手法に関する研究成果を発展・拡張させることにより、地震災害時の電力、上水道、下水道の機能的影響波及を考慮した復旧過程（電力・上水道・下水道の相互依存関係を考慮した面的、時間的な復旧状況）の定量的解析手法を構築した。図6には、基準地域メッシュモデルを用いた複数ライフラインの相互影響を考慮した復旧期間評価手順を示した。

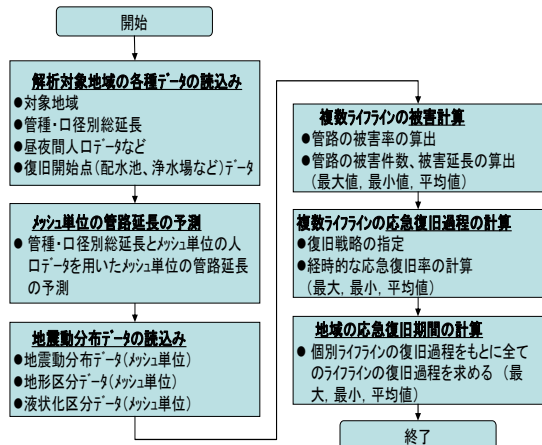


図6 基準地域メッシュモデルを用いた電力・上下水道の復旧期間評価手順

相互依存関係を考慮した復旧過程の解析手法の概要を紹介するために、首都圏の政令指定都市を対象として、中央防災会議東京湾北部地震に対する事例解析結果を示した。図7～図9には停電影響を考慮した上水道及び下水道の復旧曲線（黒線）と停電及び上下水道の相互影響を考慮した全機能復旧曲線の評価例（黒線）を示した。なお、図7、図8には、上下水道の復旧過程の評価で使用した復旧人員の経時的な投入人数（赤線）を示し

た。図 10、11 には、面的な復旧過程の評価例と各メッシュで最も復旧期間が長期化するライフラインの評価例を示した。

本研究では、既往のライフライン被害予測手法と組み合わせて使用することにより、複数ライフラインの相互依存性を考慮した機能復旧過程を評価することのできる実務的な方法を提案できたと考えており、今後の大地震の際のライフライン事業者間の復旧作業の連携等を検討する際の支援ツールへの拡張が可能と考える。

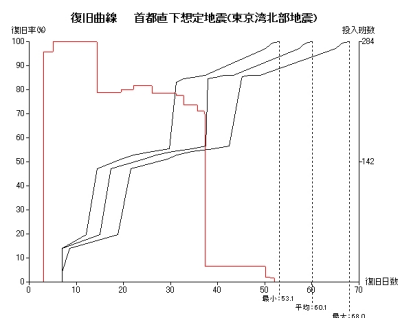


図 7 停電影響を考慮した A 市上水道の復旧曲線 (中央防災会議東京湾北部地震 (M7.3))

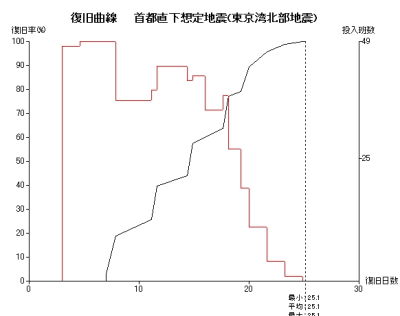


図 8 停電影響を考慮した A 市下水道の復旧曲線 (中央防災会議東京湾北部地震 (M7.3))

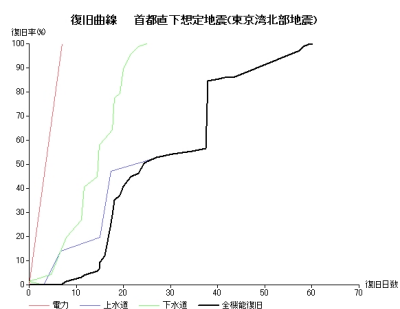


図 9 停電を考慮した A 市上下水道の復旧曲線 (中央防災会議東京湾北部地震 (M7.3))

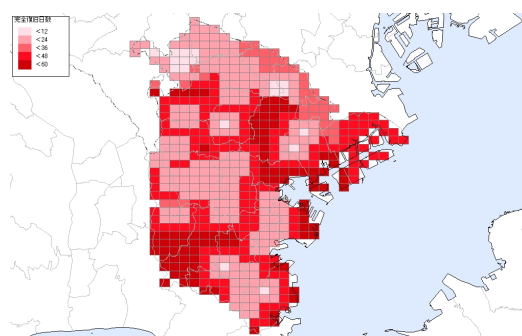


図 10 停電影響を考慮した電力・上下水道の復旧日数分布の評価例

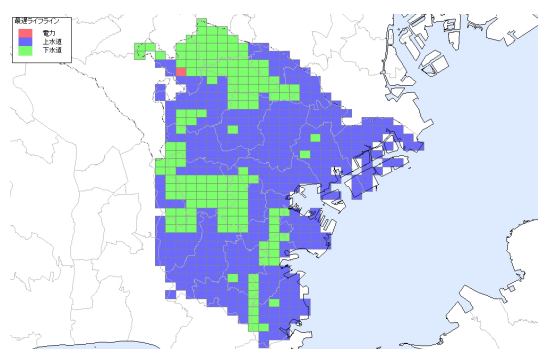


図 11 地域における最も復旧が遅れるライフラインの評価例

(3)大規模地震災害に対する重要ライフラインの脆弱性評価

中央防災会議東京湾北部地震 (M7.3) に対する首都圏 1 都 3 県の上下水道の被害及び復旧過程の事例解析を通して、解析手法の実用性に関する検討を行うとともに、単一のライフラインの復旧過程の分析では明らかにすることのできないライフライン相互の復旧過程の違いによって生じる復旧遅延地域の抽出例を示した。

広域の上下水道の復旧過程解析に際しては、上下水道施設の被害予測を行う必要があるが、安全上の問題などから被害予測で使用する配水管や污水管の埋設管情報を取得するのは困難な状況である。このため、データ提供に協力していただいた 9 自治体の上下水道の埋設管データ、市販の詳細道路データ、国勢調査・事業所統計調査データを用いた回帰分析から、式 (1)、(2) に示す埋設管延長の予測式を新たに構築して、被害予測に使用した。

$$\begin{aligned} \text{配水管延長 (m)} = & 0.601564 \cdot \text{道路総延長 (m)} + \\ & 5.644662 \cdot \text{一戸建世帯数} + \\ & 2.907286 \cdot \text{全産業事業所数} + \\ & 0.798146 \cdot \text{共同住宅世帯数} \\ & (\text{重相関係数} = 0.965) \quad (1) \end{aligned}$$

$$\text{污水管延長 (m)} = 0.47631 \cdot \text{道路総延長 (m)} +$$

7.47574・一戸建世帯数＋
 4.90563・全産業事業所数＋
 1.79548・共同住宅世帯数
 (重相関係数=0.958) (2)

図 12、図 13 には、埋設管延長の予測式を用いて推定した首都圏 1 都 3 県の上水道、下水道の埋設管データを示し、図 14、図 15 には被害予測結果を示した。また、図 16、図 17 には、被害数量に比例するように復旧人員を経時的に投入した場合の上下水道単独の復旧期間の評価結果を示した。

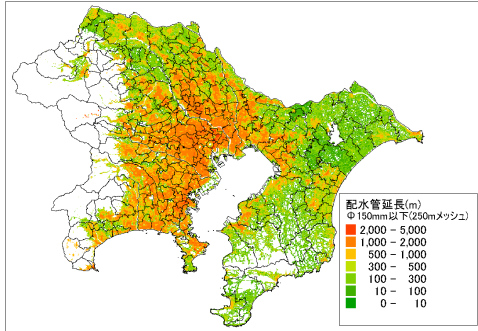


図 12 首都圏 1 都 3 県の配水管延長 (250m メッシュごとの口径 150 mm 以下)

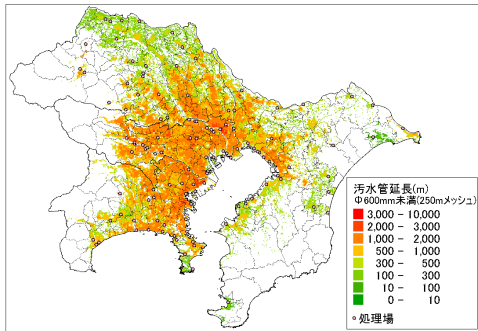


図 13 首都圏 1 都 3 県の污水管延長 (250m メッシュごと、口径 600 mm 以下)

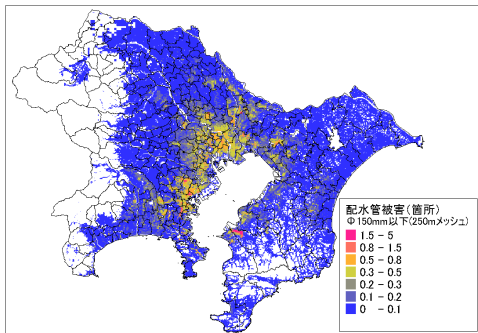


図 14 首都圏 1 都 3 県の配水管被害箇所数 (250m メッシュごと、口径 150 mm 以下)

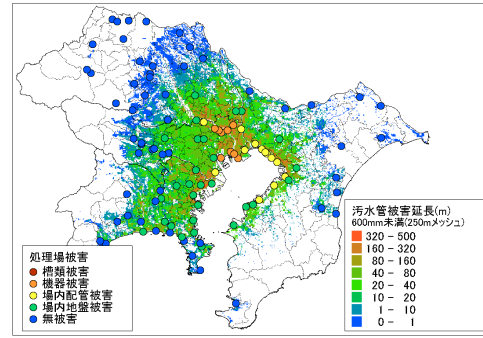


図 15 首都圏 1 都 3 県の污水管被害延長 (250m メッシュごと、口径 600 mm 未満)

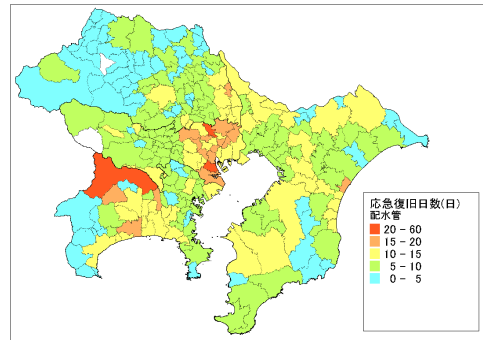


図 16 首都圏 1 都 3 県の上水道の平均応急復旧日数 (市区町村ごと)

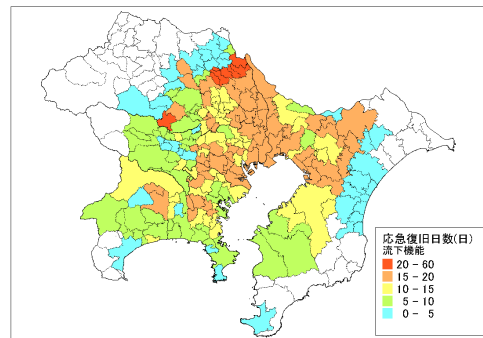


図 17 首都圏 1 都 3 県の下水道の平均応急復旧日数 (市区町村ごと)

2011年3月の東日本大震災をはじめ近年の被害地震では、下水道の機能支障に伴う使用制限が上水道の使用制限に波及する地域が発生した。このように上下水道間の復旧過程の違いによる相互影響は首都直下地震でも発生することが予想されることから、復旧期間の予測結果を用いて下水道の機能復旧日数が上水道の復旧日数より長期化する日数を地域の生活影響日数と考え、市区町村ごとの生活影響日数の平均値 (図 18) を求めた。これらの分析結果から、上下水道がそれぞれ独自の復旧戦略に基づいて復旧作業を行うより、両者で復旧戦略を共有して復旧作業を連続的に進めることにより、上下水道の相互

影響に伴う復旧遅延地域を最小化できることを定量的に示すことが可能となった。

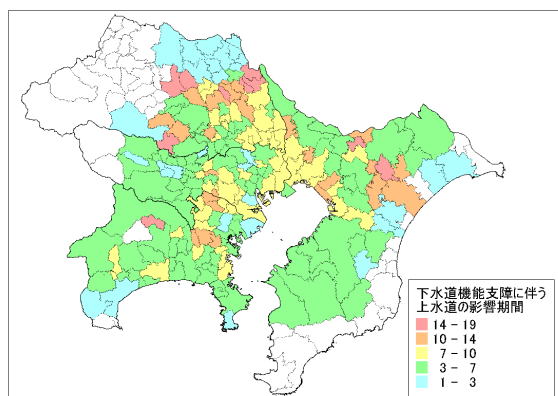


図 18 下水道の機能支障による上水道の平均影響日数（市区町村ごと）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

- ①永田茂、山本欣弥、ライフライン相互の地震後復旧過程の違いを考慮した地域影響評価、土木学会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講演集、査読無、2009、pp. 1-4、<http://www.jsce.or.jp/publication/detail/detail2477.htm>
- ②永田茂、地震時のライフラインの機能支障による企業の事業影響評価の簡易評価方法について、第 2 回相互作用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講演集、査読無、2010、pp. 54-59、<http://www.jsce.or.jp/publication/detail/detail2491.htm>
- ③小林朋美、山崎文雄、永田茂、地震被害想定のための都市基盤データに基づく上水道管路延長分布の推定、地域安全学会論文集、査読有、No. 15、2011、pp. 163-168
- ④小林朋美、山崎文雄、永田茂、都市基盤データに基づく地中埋設管の延長分布推定法の検討、第 3 回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講演集、査読無、2011、pp. 80-90、<http://www.jsce.or.jp/publication/detail/detail2559.htm>

〔学会発表〕（計 5 件）

- ①永田茂、望月智也、ライフラインの供給停止期間と企業・事業所の事業中断期間の関係について、日本地震工学会大会－2009 梗概集、査読無、7 巻、2009、pp. 152-153
- ②永田茂、配水管路網の地震後応急復旧日数の予測式に関する検討、第 62 回全国水道研究発表会講演集、査読無、62 巻、2010、pp. 672-673
- ③永田茂、地震被害予測手法を用いた下水道施設の被害把握における課題の抽出、第 48

回下水道研究発表会講演集、査読無、48 巻、2011、pp. 85-87、

<http://iss.ndl.go.jp/books/R000000004-I023532447-00>

- ④永田茂、山本欣弥、地震被害想定で用いるライフラインの埋設管延長の予測モデルに関する検討、土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集、査読無、2011、pp. 871-872
- ⑤永田茂、西野雅夫、鈴木清一、東日本大震災における上水道管路施設の被害分析、土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集、査読無、2012

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永田 茂 (NAGATA SHIGERU)

鹿島建設(株)・技術研究所・上席研究員

研究者番号：50217999