

3.1.1.4 被災者ニーズを踏まえたライフライン被害・復旧情報の体系化

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

ライフライン情報を、地震発災後の市民生活や社会経済活動を下支えする重要情報として捉え、受け手の情報ニーズを明確化した上で、マイクロメディアを利用した災害情報サービスシステムのコンテンツ提供技術を確立することを目的とする。このため、阪神・淡路大震災や東日本大震災等におけるライフライン被害・復旧データを収集・整理・分析し、来たるべき将来の地震の発災後あるいは想定シナリオに対するライフライン被害・復旧状況に関して、ニーズに見合った情報の提供を可能とする予測モデルの構築を目指す。また、マイクロメディアサービスの実証実験を踏まえ、有効性・有用性を検証して改善を図る。

(b) 平成 28 年度業務目的

平成 28 年度においては、平成 27 年度までに構築したライフライン・インフラ機能被害・復旧予測手法をさらに高度化・拡張し、想定地震を対象とした被害・復旧予測シミュレーションを実施して、その情報の利活用を図る。

供給系ライフライン（電力・上水道・都市ガス）と下水道に関しては、高度化・拡張した機能被害・復旧予測手法と主要都市を対象に作成した施設データを用いて、内閣府の南海トラフ巨大地震・首都直下地震などを想定地震とする被害・復旧予測シミュレーションを実施して、巨大災害発生時の失見当期の短縮、状況認識の統一のための情報としての利活用を検討する。特に、液状化被害が懸念されるモデル地区を対象に、入射波及び地盤の特徴量を反映させた被害関数に基づき、液状化による被害拡大リスクの評価を行う。

高速道路網に関しては、近年の被害地震の際の事例をもとに復旧予測モデルを構築し、南海トラフ巨大地震に適用して、高速道路の被害・復旧予測を行う。平面街路に関しては、東北地方太平洋沖地震の事例をもとに構築した平面道路の被害関数を用いて、南海トラフ巨大地震を対象とした被害予測を行う。さらに、想定される南海トラフ巨大地震津波に曝露される道路交通インフラを対象として、落橋確率を推計した上でその空間分布の特徴を明らかにし、工学的な対策を立案する。

以上の結果をジオポータル上に展開し、各種情報とのマッシュアップを行い、ニーズに見合ったライフライン情報を提供して、都市防災における活用事例の作成及び周知を行う。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人岐阜大学 工学部	教授	能島暢呂	
国立大学法人筑波大学 システム情報系	准教授	庄司 学	
国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科	准教授	丸山喜久	
鹿島建設株式会社 技術研究所	上席研究員	永田 茂	

(2) 平成 28 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 28 年度においては、平成 27 年度までに構築したライフライン・インフラ機能被害・復旧予測

手法をさらに高度化・拡張し、想定地震を対象とした被害・復旧予測シミュレーションを実施して、その情報の利活用を図った。

供給系ライフライン（電力・上水道・都市ガス）と下水道に関しては、高度化・拡張した機能被害・復旧予測手法と主要都市を対象に作成した施設データを用いて、内閣府の南海トラフ巨大地震・首都直下地震などを想定地震とする被害・復旧予測シミュレーションを実施して、巨大災害発生時の失見当期の短縮、状況認識の統一のための情報としての利活用を検討した。特に、液状化被害が懸念されるモデル地区を対象に、入射波及び地盤の特徴量を反映させた被害関数に基づき、液状化による被害拡大リスクの評価を行った。

高速道路網に関しては、近年の被害地震の際の事例をもとに復旧予測モデルを構築し、南海トラフ巨大地震に適用して、高速道路の被害・復旧予測を行った。平面街路に関しては、東北地方太平洋沖地震の事例をもとに構築した平面道路の被害関数を用いて、南海トラフ巨大地震を対象とした被害予測を行った。さらに、想定される南海トラフ巨大地震津波に曝露される道路交通インフラを対象として、落橋確率を推計した上でその空間分布の特徴を明らかにし、工学的な対策を立案した。

以上の結果を Web-GIS 上に展開し、各種情報とのマッシュアップを行い、ニーズに見合ったライフライン情報を提供して、都市防災における活用事例の作成及び周知を行った。

(b) 業務の成果

1) 供給系ライフラインの被害・復旧評価方法の高度化のための検討

a) 震災規模としての震度曝露人口を考慮した復旧過程の評価

平成 27 年度までに構築・改良を進めてきた供給系ライフライン（電気・水道・ガス）の機能的被害・復旧予測モデル¹⁾については、東日本大震災の被災事例に適用し、被災地全域および都道府県レベルで実測値との比較検証を行った結果、概ね整合していることが確認された¹⁾。一方、2004 年新潟県中越地震を対象とした検証では、初期被害推計値は実測値とほぼ同等となっているが、復旧過程はやや過大評価の傾向にあることが指摘されており¹⁾、2016 年熊本地震においても同様の傾向が見られた。これは震災規模の違いによる復旧必要量の違いに起因すると考えられる。本研究では、ライフラインの被災規模に対する影響要因として震度曝露人口に着目し、震災規模に応じて復旧所要日数を調整することとした。

図 1 は阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震による震度曝露人口を比較したものである。被害発生を目安となる震度 6 弱以上については、上記順（1995, 2011, 2016 年と標記）に 355 万人、631 万人、110 万人、さらに大被害につながる震度 6 強以上については 165 万、170 万、63 万と推計された。東日本大震災では予測モデルの適合性が良好であることから、震度 6 強以上の震度曝露人口の方が支配的要因であると判断される。そこで、阪神・淡路大震災に対する熊本地震の比率 38%を復旧所要日数の補正係数として、供給支障人口の推計結果を修正した。

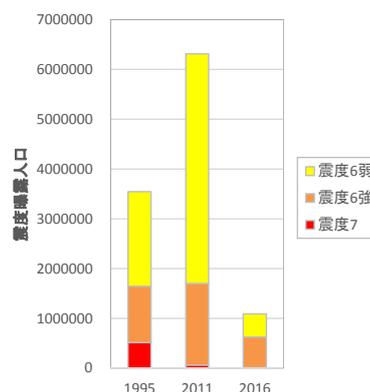


図 1 震度曝露人口の震災間比較

図 2 に熊本県全体を対象とした供給支障人口の推計値と、補正係数により修正した推計値および実測値を比較した。いずれのシステムにおいても、修正前の推計値は、初期被害に関してはほぼ妥

当な結果を与えているものの、その後の復旧過程については、実際の復旧所要日数は推計値よりも短い傾向にあり、復旧所要日数が過大評価となっている。震度6強以上の震度曝露人口の比率を用いた修正によって推計値が改善される傾向が見て取れる。断水人口に関してはまだ過大評価の傾向が残っているが、次項 b) に示すように、熊本市の断水戸数の公表値と実態の乖離が原因とである可能性がある。市町村別の評価でも同様の修正を行い、良好な結果が得られることを確認した。

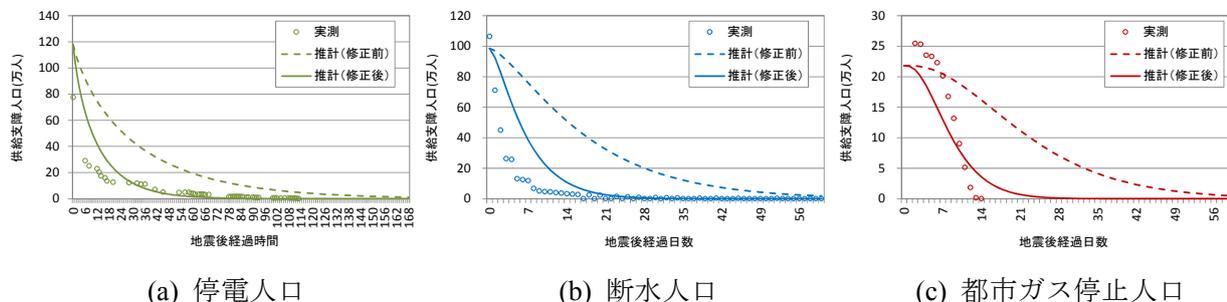


図2 供給支障人口の修正前（破線）および修正後（実線）の推計値と実測値（点プロット）との比較（熊本県全体）

b) 停電と断水の影響を考慮した避難者数予測式

2016年熊本地震では極めて多数の被災者が避難した。その避難行動には、住家損壊、屋内散乱、余震に加えて、ライフライン途絶や仮設住宅等の整備状況が関連していると考えられる。供給系ライフライン機能的被害・復旧予測モデルの応用例として、文献²⁾を参考にして、これまでに断水人口の予測結果を用いた避難者数推計を扱ってきたが¹⁾、ここでは断水に関する項のみを対象としていた。本研究ではより有用なライフライン情報を提供するため、熊本地震における実測値を用いて予測式の再検討を行った。地震後経過日数 t における避難所における避難者数 $N_E(t)$ の予測式を式(1)に拡張する。

$$N_E(t) = \left\{ (M_C + e_H M_H) + (M - M_C - e_H M_H) \times \max\{e_E D_E(t), e_W D_W(t)\} \right\} e_S \times R_{ES}(t) \quad (1)$$

ここで M は全人口、 M_C は全壊・焼失建物の居住人口、 M_H は半壊建物の居住人口、 e_H は半壊建物被害による避難率、 e_E は停電による避難率、 $D_E(t)$ は停電率、 e_W は断水による避難率、 $D_W(t)$ は断水率である。また e_S は避難所率（ $1 - e_S$ は疎開率）と呼ばれ、避難所生活者数と避難所以外への疎開者数に分ける係数で、本来は時間関数であるがここでは定数とし、時間的な変動については、最大値を1とした避難者数の解消過程の時間関数 $R_{ES}(t)$ で表すこととした。

ここでは益城町を対象とした結果を示す。図3は停電人口、断水人口、全壊³⁾および全半壊³⁾人口（いずれも戸数単位からの人口換算）と避難者数の時系列である。避難者数の実測値に整合するように暫定的に調整したパラメータ（ $e_H = 0.50, e_E = 0.8, e_W = 0.8, e_S = 0.83$ ）による予測結果をあわせて示す。本震直後（図4に示す相次ぐ余震⁴⁾の影響による急激な変動はフィッティングから除外）を除けば、比較的よく当てはまっている。ここで、式(1)の時間関数 $R_{ES}(t)$ としては、Cimellaro and Reinhorn⁵⁾が定式化した”operability”のレジリエンスモデルをもとにした Reed et al.⁶⁾による”inoperability”のモデルを採用している。物理モデルとして線形1自由度系の過減衰運動のアナロジーとなっており、本研究ではパラメータを周期 $T=100$ 日、減衰定数 $h=300\%$ 、初期変位 $d_0=1$ 、初速 $v_0=0$ とした図5の曲線を用いた。屋内散乱の後片付けや仮設住宅・みなし仮設住宅の整備過程⁷⁾との関連性が示唆される。

同様の検討を、熊本市、西原村、南阿蘇村、御船町を対象として行った。西原村と御船町においては、モデル係数は若干異なるものの、益城町と同様に本震直後を除けば、推定結果は実測値に良く適

合する結果が得られた。一方、南阿蘇村では本震から約 5 週間後に、住環境が改善された 2 次避難所（阿蘇ファームランドなど）への誘導が行われたことから、約 4 ヶ月後に閉鎖されるまでの間に避難者数が増加しており、予測値との不整合が目立った。また熊本市においては、本震から 2~3 週間の避難者数は、断水人口から推定される予測値を大きく上回っており、通水状況に基づく断水戸数の公表値が過小評価であった可能性が指摘される。

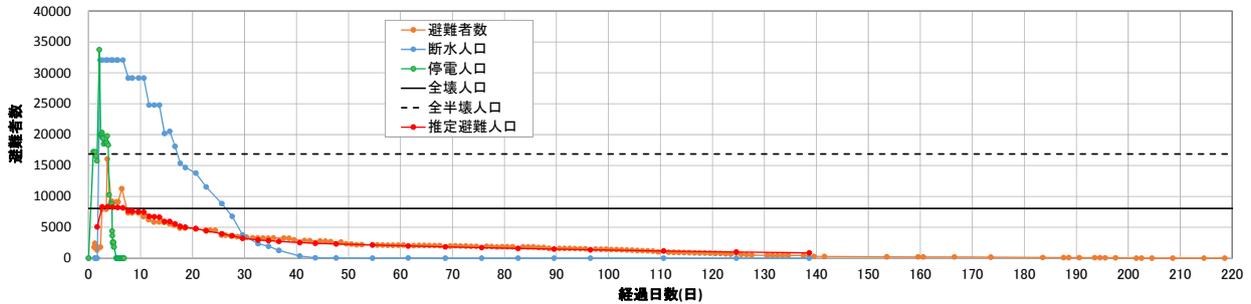


図 3 停電・断水・全壊・全半壊人口と避難者数および予測式による推定結果（益城町）

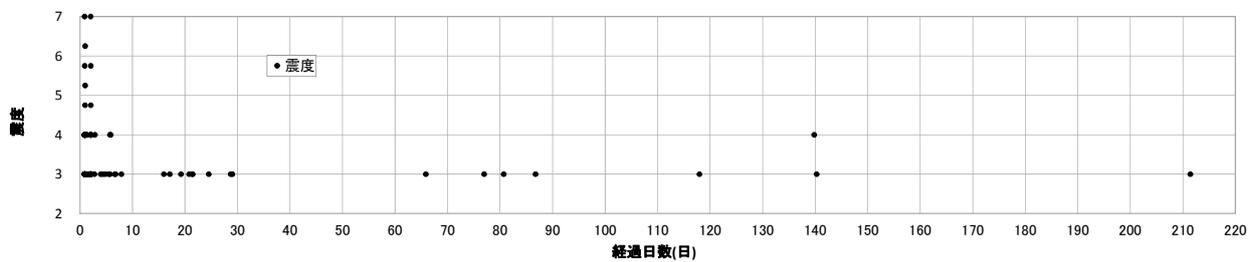


図 4 益城町における震度 3 以上の観測状況（震度 6 強は 6.25、震度 6 弱は 5.75 などに表示）

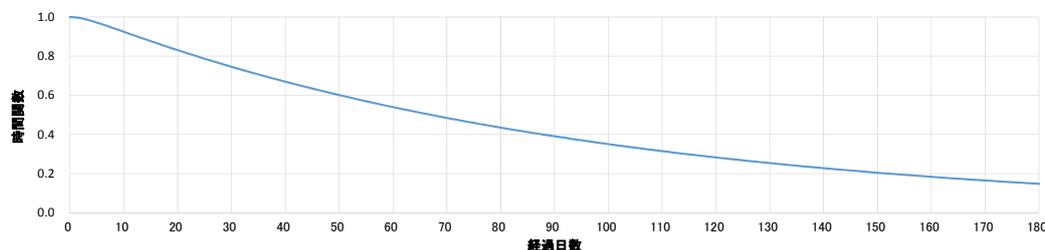


図 5 避難者数の解消過程の時間関数（過減衰モデル $R_{es}(t)$: $T=100$ 日、 $h=300\%$ 、 $d_0=1$ 、 $v_0=0$ ）

2) 上下水道施設の被害・復旧評価方法の高度化のための検討

a) 平成 28 年熊本地震の被害データを用いた上水道被害予測式の高度化

平成 28 年熊本地震による熊本市の上水道管路被害の再現解析を通して、上水道管路施設の被害予測式で使用する管種・口径補正係数($C_p \cdot C_d$)、造成・液状化地盤補正係数 C_g の再検討を行い、予測精度（被害箇所数と被害発生位置）の高度化を図った。以下に、検討対象となる丸山・山崎による上水道管路の被害予測式（式(2)~(4)）^{8),9)}を示す。

$$N_D = (C_p \cdot C_d) \cdot C_g \cdot R(v) \cdot L \quad (2)$$

$$\text{CIP: } R(v) = 2.06 \cdot \Phi(\ln(v) - 5.00) / 0.860 \quad (3)$$

$$\text{DIP: } R(v) = 4.99 \cdot \Phi(\ln(v) - 6.04) / 0.864 \quad (4)$$

ここで、 N_D は配水管の地震被害箇所数、 v は地表最大速度（以下、PGV）で水平 2 成分の合成値の最大値である。 $R(v)$ は標準被害率（箇所/km）、 L は配水管延長（km）、 Φ は標準正規確率分布関数、($C_p \cdot C_d$)は管種・口径補正係数、 C_g は造成・液状化地盤補正係数である。

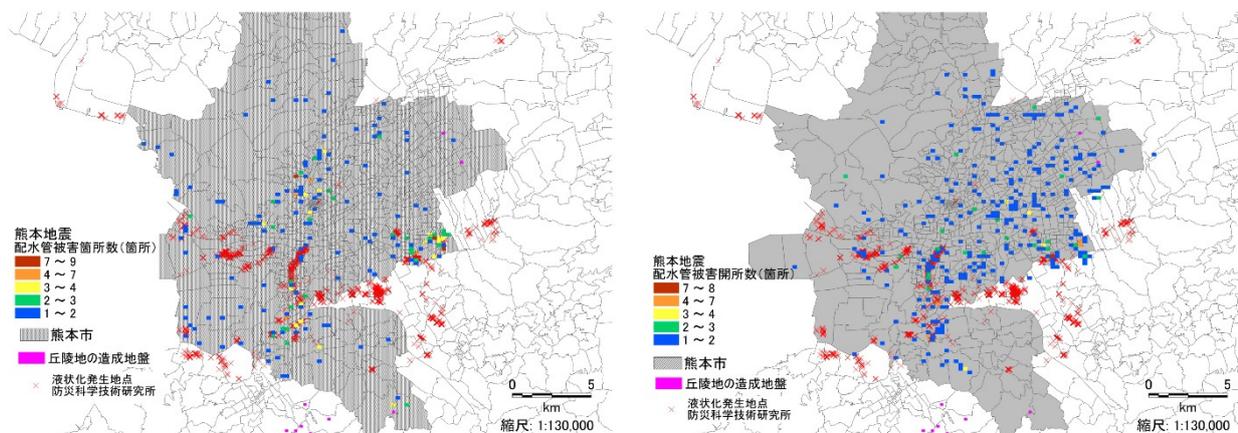
再現解析に際しては、熊本市上下水道局の導水・送水・配水路施設データ及び地震被害データを使用し、熊本地震本震の PGV 分布は、産業技術総合研究所地球観測グリッドが公開する地震動マップ即時推定システムの予測値¹⁰⁾を使用した。また、宅地造成地盤については丸山らの方法¹¹⁾で抽出し、液状化地盤に関しては防災科学技術研究所の熊本地震クライシスレスポンスサイトの液状化現象発生地点¹²⁾の半径 5m の範囲を液状化地点と仮定した。再現解析では、熊本市内の総被害箇所数の実績値 272 箇所に対して予測結果は約 3 倍の 800 箇所程度と過大な予測結果となった。予測結果が過大となった主な原因としては、100mm 以下のダクタイル鋳鉄管(DIP)に関しては、 $(C_p \cdot C_d)$ の値が過大であることに加え、耐震性が異なる一般継手 (K 形・A 形・T 形継手) の $(C_p \cdot C_d)$ を一括りにしていることであった。また、鋼管(SP)に関しては、東日本大震災では十分な管路延長がなかったために、被害実績から求めた $(C_p \cdot C_d)$ ⁸⁾の信頼性が低下していたこと、耐震性の異なる溶接接合とねじ接合の $(C_p \cdot C_d)$ を一括りにしていたことなどが原因であった。

再現解析の結果を踏まえて、主に DIP 及び SP の $(C_p \cdot C_d)$ の再検討を行い、表 1 の結果を得た。この結果を用いて被害発生分布のシミュレーションを行い、サンプル分布の 1 例を被害実績とともに図 6 に示した。 $(C_p \cdot C_d)$ の見直しにより、予測被害箇所数は約 340 箇所（その他管種を除くと 293 箇所）となり、被害実績に対し約 1.3 倍程度まで改善された。被害予測式で使用する管種・口径補正係数を被害実績に基づいて適切に設定することにより、予測精度の向上が可能であることを示した。

表 1 熊本地震の被害発生状況を考慮した管種・口径補正係数 $(C_p \cdot C_d)$ ¹³⁾

(網掛けの係数は、既往の研究で得られた管種・口径補正係数 $(C_p \cdot C_d)$ ²⁾ に対して見直しを行ったものを表す)

管種	口径					
	50mm以下	65-75mm	100-150mm	200-450mm	500-900mm	1000mm以上
DIP (耐震継手), PE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIP (一般継手, K形)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
DIP (一般継手, A形)	0.8	0.8	0.1	0.1	0.1	-
DIP (一般継手, その他)	1.5	1.5	0.3	0.3	0.3	0.2
CIP	2.0	2.0	1.0	0.4	0.4	0.2
VP (TS継手)	0.32	0.32	0.2	0.2	-	-
VP (RR継手)	0.05	0.05	0.05	0.05	-	-
SP (溶接接合)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SP (ねじ接合)	1.2	1.2	1.0	1.0	-	-
ACP	10.0	6.9	1.0	1.0	-	-
上記以外	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3	-



(a) 平成 28 年 8 月末時点の被害実績
被害箇所数 272 箇所

(b) 表 1 を用いた再現解析結果
被害箇所数 342 箇所 (サンプル場)

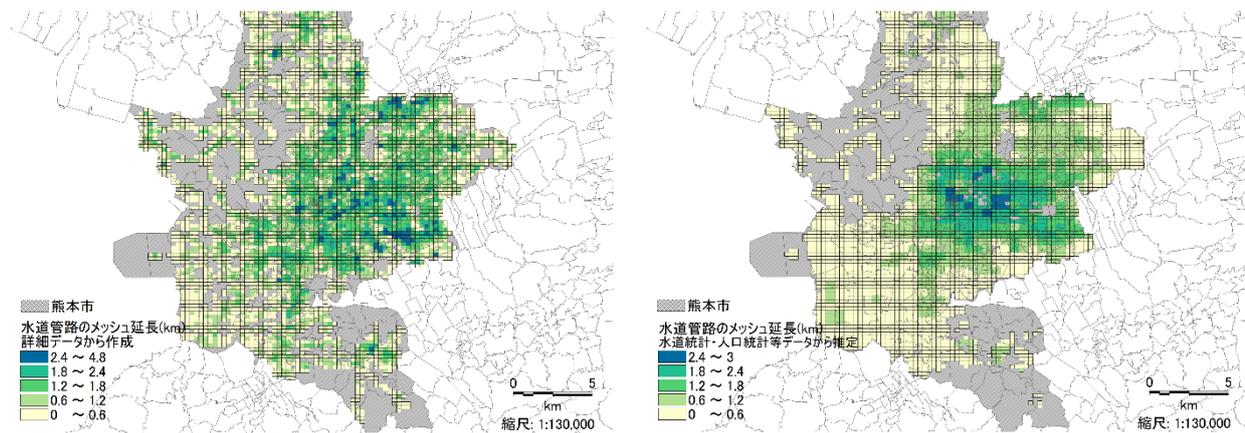
図 6 平成 28 年熊本地震における熊本市の配水管被害箇所の再現解析結果¹³⁾

b) メッシュデータに基づく上水道管路施設の被害・復旧期間の予測

平成 27 年度まで報告してきたメッシュデータに基づく全国を対象とした上下水道管路施設の地震被害及び復旧期間予測方法を、平成 28 年熊本地震における熊本市の導水・送水・配水管路施設に適用した。これにより、本研究で提案した上下水道管路施設の地震被害及び復旧期間予測方法が、失見当期の短縮や状況認識の統一のための情報提供ツールとして妥当であるかを確認するとともに、課題の整理を行った。

本検討で用いたのは、水道統計・国勢調査データ等から推定した水道管延長のメッシュモデル、産業技術総合研究所地球観測グリッドが公開した熊本地震本震の PGV 分布、防災科学技術研究所の熊本地震クライシスレスポンスサイトの液状化現象発生地点データなど全て公開データのみである。図 7 には、前項 a) で使用したデータで熊本上下水道局の導水・送水・配水路施設データから作成した水道管延長のメッシュモデルと水道統計・国勢調査データ等から推定した水道管延長のメッシュモデルを示し、表 2 と図 8 には、水道管延長のメッシュモデルを用いた熊本地震の再現解析結果を示した。

図 7、8 及び表 2 の結果から、水道統計や国勢調査などの公開データだけを用いて推定した水道管路延長のメッシュモデルが管路施設の配置状況をほぼ把握できていること、また、被害予測箇所数や被害分布も概ね被害実績を再現しており、失見当期の短縮や状況認識の統一のための情報提供ツールとしての妥当性が確認できた。一方、必要復旧人員や復旧期間の評価に関しては、さらに検討を進めて精度向上を図る必要があることを認識した。



(a) 導水・送水・配水路施設データから作成 (b)水道統計・国勢調査データ等から推定

図 7 平成 28 年熊本地震における上水道管路施設の再現解析に使用した水道管メッシュモデル

表 2 水道管延長のメッシュモデルを用いた熊本地震の再現解析結果（被害実績との比較）

管種	予測・実績	被害予測結果 (箇所)	被害実績 (箇所) (H28.8時点)
铸铁管		42.2	28
ダクタイル铸铁管（一般継手）		67.8	73
鋼管（溶接）		31.0	38
鋼管（ねじ継手）		68.2	64
石綿セメント管		0.1	0
塩化ビニル管（TS継手）		45.0	68
塩化ビニル管（ロング継手）		0.0	—
その他		17.8	0
合計		241.1	272

項目	予測・実績	復旧予測結果	復旧実績 (H28.8時点)
漏水調査（2016/4/19-4/25）		993人	251人(延べ)
漏水調査・修繕（2016/4/26-6/2）		(延べ)	6557人
復旧期間		14日(10班投入)	15日
		7日(20班投入)	
		5日(30班投入)	

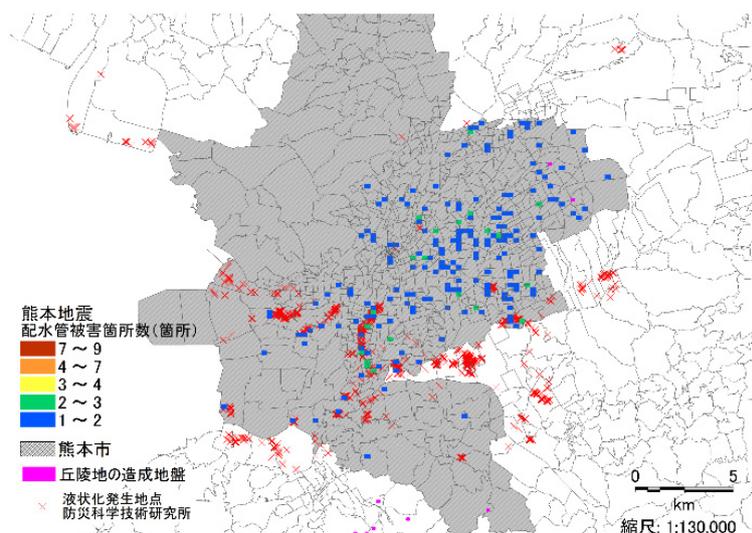


図8 水道管延長のメッシュモデルを用いた熊本地震の被害発生位置の再現解析結果
(サンプル場)

c) 液状化による下水管路の被害拡大リスクの評価に関する検討

平成 27 年度までには、茨城県ひたちなか市、神栖市および千葉市美浜区の 3 市区をモデル地区として、東北地方太平洋沖地震の際のこれらの地区における下水管路の被害データを分析し、最大地表速度 PGV 等を指標とした被害率曲線のモデルを構築している。平成 28 年度においては、上記のモデル地区の中で茨城県神栖市の下水管路データを取りあげ、管路敷設下の工学的基盤相当に作用した入射波を算定した上で¹⁴⁾、地下水位 GWL 、 PL 値、液状化層厚等の埋設地盤の特徴量を考慮し、計 39 点に及ぶ対象地点に対して埋設地盤の 1 次元有効応力解析 (YUSAYUSA¹⁵⁾) を実施した。これより、埋設管路への作用指標となる地盤の応答の特性値 (最大ひずみ γ_{max} 、最大変位 D_{max} 、残留変位 D_R) と下水管路の被害率 R [km/km] の関係を明らかにした。

図 9 より、被害率 R が 0.5 を超える地点は地下水位 GWL が 1.5m 以下の液状化地点 (図中○印) のみであり、埋設地盤において高い地下水位であることは液状化による被害拡大リスクを増大させる要因となることが明らかとなった。 PL 値に関しては、30 程度まで数値がばらついているものの、 PL 値が 5 を超えた領域において右上がりの傾向を定性的に示しており、埋設管路の液状化被害拡大リスクに対して一定レベルの説明性を有している。また、図 10 より、対象地域の PGV は 30kine から 45kine 程度の範囲にあり、液状化地点では 30kine 程度においても被害が発生しており、いずれも液状化層厚がおおよそ 4m 以上と厚い地点である。さらに、図 11 より、被害率 R が 0.5 を超える地点は最大変位 D_{max} が 2~3cm を超える地点 (1-2, 2-1, 2-2, 2-3, No.2) に特に集中しており、液状化層厚が厚く、かつ、対象地点において予測される最大変位 D_{max} が数 cm オーダーを超えると下水管路の液状化被害拡大リスクは高まることを示している。

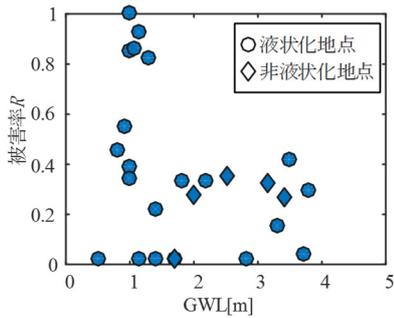


図9 GWL及びPL値と被害率の関係

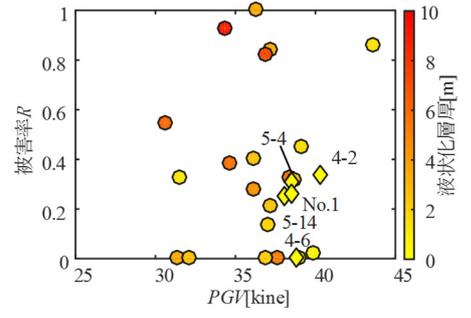
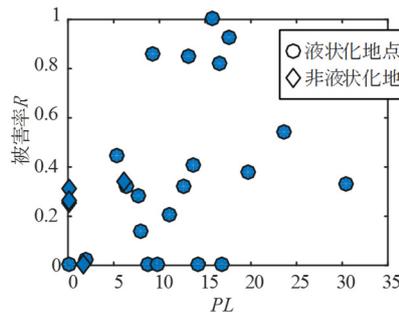


図10 PGVと被害率の関係

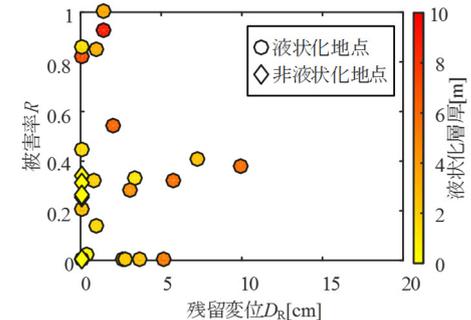
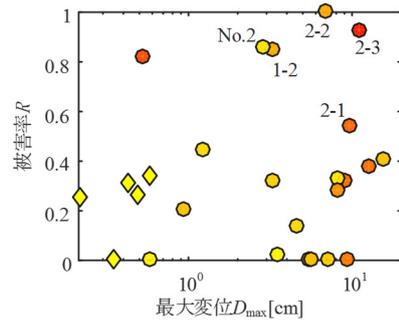
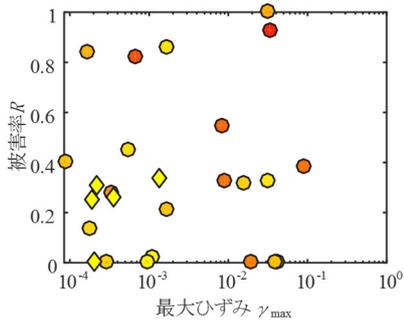


図11 埋設深度相当の地盤の応答特性と被害率の関係

3) 交通系施設の被害・復旧評価方法の高度化のための検討

a) 高速道路の復旧予測手法に関する検討

上原・丸山¹⁶⁾は、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年東北地方太平洋沖地震における高速道路の復旧状況を取りまとめ、地震後の復旧期間を予測する数理モデルを構築した。なお、この研究では、NEXCO 東日本などが管轄する高速自動車国道を対象としている。この数理モデルでは、震度5弱および震度5強の震度曝露道路延長 (km)、震度6弱以上の震度曝露道路延長 (km)、開通までに要した日数 (復旧期間)、地震のモーメントマグニチュードを説明変数とし、インターチェンジ (IC) 間ごとの復旧確率 p を予測する。 p が 0.5 となる時の日数を復旧期間と見なすと、東北地方太平洋沖地震の際の東北自動車道の復旧期間がある程度の精度で予測されることを確認した。

しかし、2016年に発生した熊本地震の九州自動車道の復旧期間を予測すると、過小評価になることが確認された。この主な理由は、熊本県内の IC 間の距離が上原・丸山¹⁶⁾が分析に使っていた東日本の高速道路の IC 間の距離のおよそ半分程度しかないことであり、そのため必然的に震度曝露道路延長が短くなるため復旧日数が短く推定された。そこで、以下のように予測モデルを見直し、再構築した。

$$p = \frac{1}{1 + \exp\{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_Mx_M + b_ix_i)\}} \quad (5)$$

ここで、 x_1 は IC 間ごとの震度5弱および震度5強の震度曝露道路延長の割合、 x_2 は IC 間ごとの震度6弱以上の震度曝露道路延長の割合とし、距離の長短が予測結果に直接影響することがないようにした。また、 x_M はモーメントマグニチュード、 x_i は復旧日数、 p は復旧確率を表す。このロジットモデルから描くことができる ROC (Receiver Operating Characteristics) 曲線の AUC (Area Under the Curve)

は 0.95 を示した¹⁷⁾ため、このモデルは IC ごとの復旧済み／未復旧の判別能力に優れたモデルであると判断できる。

この数理モデルを南海トラフを震源とする地震(中央防災会議が定義する基本ケース¹⁸⁾)に適用し、高速道路の復旧日数を予測すると図 12 のようになる。東京、名古屋間では震源域に近い東名高速道路では 13 日から 16 日程度復旧にかかると見込まれる。それよりやや内陸側の新東名高速道路でもほぼ同じ予測日数が得られた。一方、中央自動車道が 10 日程度と東名高速道路よりも早く復旧する見込みとなるため、中央自動車道を利用しての迂回輸送が可能と考えられる。

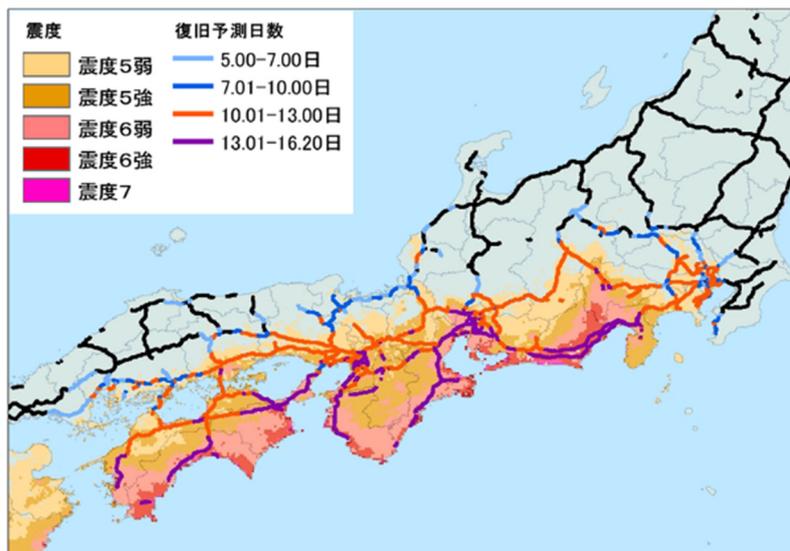


図 12 南海トラフを震源とする地震の際の高速道路の復旧日数の予測結果 (基本ケース)

b) 南海トラフを震源とする地震の際の津波による道路被害予測

板垣・丸山¹⁹⁾が構築した津波による平面道路の被害予測式と、水越・庄司²⁰⁾の津波による橋梁の被害予測式を用いて、南海トラフを震源とする地震に伴う津波の際の道路網の被害予測を行った。板垣・丸山¹⁾の平面道路被害予測式は、東北地方太平洋沖地震の際の被害データと津波の浸水深をもとに構築されたもので、沿岸部の地形の特徴²¹⁾に応じて 4 種類の関数が提案されている。本研究では、被害予測を行う自治体として、三重県志摩市、徳島県徳島市、高知県高知市、室戸市、大分県佐伯市を選定し、沿岸部の地形に関する既往研究や津波数値シミュレーションを通じて、4 種類のどの被害関数を適用するのが妥当かを検討した。その結果、高知県室戸市はゾーン I (海岸段丘を有する地域)、三重県志摩市と大分県佐伯市はゾーン II (リアス式海岸を有する地域)、徳島県徳島市、高知県高知市はゾーン IV (低平地) と判断され、ゾーンごとの平面道路の被害関数を適用した。

図 13 に、高知県高知市における被害予測結果を示す。平面道路の予想被害件数が 0-0.1 件の区間は 9076 区間、0.1~0.2 件の区間は 106、0.2~0.5 件までの区間は 49 区間、0.5 を超える区間も 13 区間となった。海岸段丘を有する地域やリアス式海岸を有する地域に比べ、浸水面積が大きいため浸水する区間数が非常に多い。内陸の平地では予想被害件数が 0.1 件までの区間が大半であるが、沿岸の区間では予想被害件数が 0.2 件を超える路線が多い。路線ごとに被害件数をまとめると、沿岸に存在する県道 14 号線で 11.6 件と最も多く、次いで国道 32 号線で 3.3 件、国道 56 号線で 1.8 件となった。

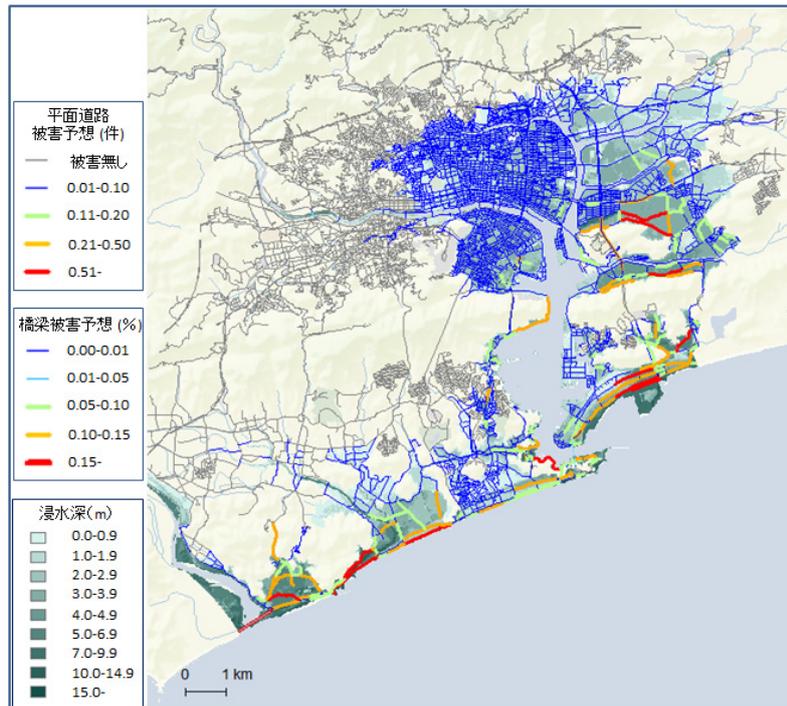


図 13 高知県高知市における津波による道路網の被害予測結果

c) 津波災害時における道路ネットワークの機能支障評価とそれを踏まえた工学的な対策立案

平成 27 年度までには、道路ネットワークにおいて物理的にクリティカルなノードとなる橋梁を対象とし、浸水深を指標とした被害関数の構築を行ない、南海トラフ巨大地震津波に曝露される関東から九州までの広域の海岸部に敷設された道路橋梁の落橋確率の空間分布を示した²⁰⁾。平成 28 年度においては、それらの中から徳島市の海岸部をモデル地区に選定した上で、それらの地区に敷設された延長距離 411.9km の道路ネットワーク（リンク数：6300、ノード数：4502、橋梁：55 箇所）を対象とし、徳島県並びに徳島市の 2 箇所の庁舎から対象地区に分布する計 50 地点の避難所への物資輸送に資するアクセスルートの連結信頼性の評価を試みた。なお、この際には、津波に対する平面道路の被害関数が提案されている板垣・丸山¹⁹⁾の知見も活用している。

対象地区の平面道路においては 1～2m 並びに 2～5m の津波に曝露される地点が支配的である一方で、橋梁においては河川を遡上する 5m 以上の津波に曝露される地点があるため、図 14 によれば、2 箇所の庁舎からの距離が 2km 程度であっても、長くなり、かつ、通過する橋梁の数が 2 箇所以上と多くなるほど、アクセスルートの信頼性は最大で 6 割前後まで大きく低減することが明らかとなった。

また、図 15 のように、得られた信頼性 R の数値を各避難所の属性として付与し空間情報として示すことで、県や市などの公的セクターが津波対策を立案する際の一助とする道路ネットワークに係わるハザードマップの一形態を示した。

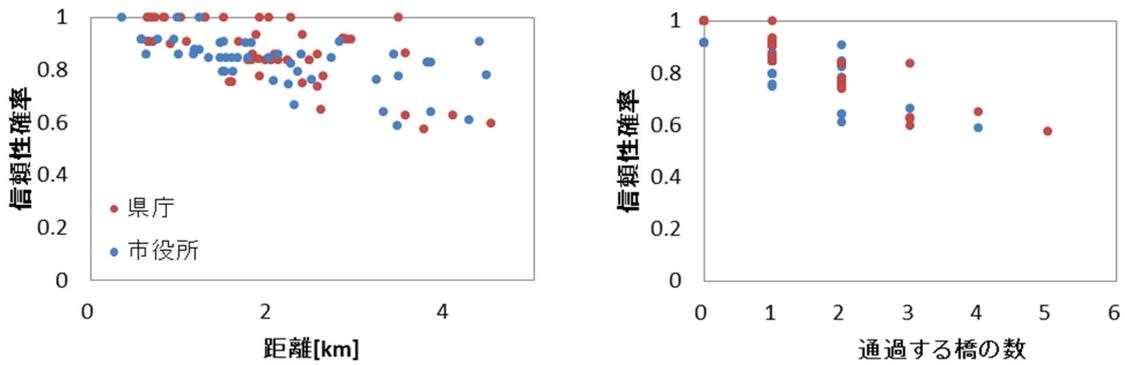


図 14 津波災害時において物資輸送の基点となる庁舎から避難所までのアクセスルートの信頼性



図 15 津波災害時における道路ネットワークの機能支障評価から得られた避難所のハザードマップ

(c) 結論ならびに今後の課題

供給系ライフラインの機能的被害・復旧予測モデルを 2016 年熊本地震に適用した結果、供給支障人口の復旧過程がやや遅めに評価される傾向にあった。そこで震度 6 強以上の曝露人口に基づく補正係数によって復旧所要日数を調整して熊本地震に適用したところ、推計値が改善されることを確認した。また、この被害・復旧予測モデルの応用例として、停電と断水の影響を考慮した避難者数予測式について検討した。既往の予測式にレジリエンスモデルを導入し、熊本地震における避難者数の推移に適用し、余震が集中した本震直後を除いて実測値に適合するモデル係数を算出した。今後は、被害・復旧予測モデルを既往地震に適用して検証を進めるとともに、避難者数予測機能の改良版を付加してツールとして実装し、利用促進を図る方針である。

さらに、熊本地震におけるライフライン施設の被害・復旧状況に関するデータ集収集と分析作業を行うとともに、これら収集データを用いてメッシュデータに基づく上下水道管路施設の被害予測方法の高度化を進めた。また、高度化した上下水道管路施設の被害・復旧評価方法を熊本地震における熊本市に適用することにより、提案してきた被害・復旧評価方法が失見当期の短縮や状況認識の統一のための情報提供ツールとして利用可能な精度を有していることを確認した。一方、必要復旧人員や復旧期間の評価に関しては、さらに検討を進めて精度向上を図る必要があることを確認した。

交通系施設の被害・復旧評価方法の高度化のための検討として、地震による高速道路の復旧に数を予測する数理モデルを構築した。今後は、橋梁、高架、トンネル等の道路構造の違いが復旧日数に与える影響を評価できるようにモデルの改良を行う。また、高知県高知市などを対象として、道路網の津波による被害予測を行った。今後は、このような物的な被害予測に加えて、通行止めなど道路機能の影響を評価し、復旧拠点間の到達予測などを行うことで復旧戦略の立案に貢献できる。

液状化被害が顕在化したモデル地区の下水管路データを分析することで、入射波及び地盤の特徴量を考慮し、下水管路の液状化による被害拡大リスクの評価を行った。今後は、今回明らかとなった感度の高い埋設地盤に関するパラメータ（地下水水位、PL 値、液状化層厚など）に基づき、予測精度の高い下水管路の被害関数に高度化する予定である。また、平面道路及び橋梁で構成される道路ネットワークの津波災害時における機能支障の評価事例を示し、工学的な対策立案の一助とするハザードマップを提案した。今後は、津波の曝露と道路ネットワークの形態を考慮して評価事例とする対象地区を増やし、本ハザードマップのパターンを類型的並びに一般的に示す予定である。

(d) 引用文献

- 1) 加藤宏紀, 能島暢呂: 供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル —市区町村別簡易評価法のシステム構築—, 日本地震工学会論文集(JAEE特集号)第15巻, 第7号, pp.7_354-7_367, 2015.
- 2) 損害保険料率算出機構: 国・自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査(平成25年度調査) 第2部 地震被害想定手法の整理, 第III章 被害予測手法の整理, 地震保険研究27, pp.331-339, 2014.5.
- 3) 熊本県: 熊本県災害対策本部会議資料, 平成28年熊本地震に係る被害状況について, 197報(2016.11.29).
- 4) 気象庁: 震度データベース検索, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2017年1月6日閲覧)
- 5) Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M. and Bruneau, M.: Framework for Analytical Quantification of Disaster Resilience, *Engineering Structures*, Vol.32, No.11, pp.3639–3649, 2010.
- 6) Reed, D., Wang, S., Kapur, K. and Zheng, C.: Systems-Based Approach to Interdependent Electric Power Delivery and Telecommunications Infrastructure Resilience Subject to Weather-Related Hazards, *Journal of Structural Engineering*, Vol.142, Issue 8, August 2016.
- 7) 国土技術政策総合研究所: 平成28年(2016年)熊本地震建築物被害調査報告(速報) 第3章 3.7 応急仮設住宅等の確保状況等, 2016.9.
- 8) 丸山喜久, 山崎文雄: 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, 土木学会地震工学論文集, Vol.30, pp. 565-574, 2009.
- 9) 永田茂, 丸山喜久, 庄司学: 既往の上水道配水管の地震被害予測式の予測精度に関する検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.4, I_50-I_61, 2015.
- 10) GEO Grid プロジェクト; 地震動マップ即時推定システム 2011-03-11T14:46 計測震度分布, si20110311144600.00m9.0.tif (2014年8月25日閲覧)
- 11) 丸山喜久, 伊藤智大, 若松加寿江, 永田茂: 東北地方太平洋沖地震における宮城県仙台市の水道管路被害状況の分析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.70, No.3, pp. 377-388, 2014.
- 12) 防災科学技術研究所: 平成28年(2016年)熊本地震 クライシスレスポンスサイト, 液状化現象

発生地点：現地調査結果（6/6 更新版），<http://ecom-plat.jp/nied-cr/index.php?gid=10153>（2016 年 8 月 30 日閲覧）。

- 13) 永田茂：平成 28 年熊本地震を対象とした上水道管路被害予測精度に関する検討、土木学会第 7 回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演概要集、2016.
- 14) 原昌弘，庄司学：下水道埋設管路網の液状化被害と入力地震動の関係，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 (DVD-ROM)，pp. 287-288，2016.9.
- 15) 吉田望，東畑郁生：YUSAYUSA：有効応力に基づく 1 次元地震応答解析，<http://www.civil.tohokugakuin.ac.jp/yoshida/computercodes/index.html>（2017.1.23 参照）
- 16) 上原康平，丸山喜久：既往地震データに基づく高速道路の復旧予測に関する統計分析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.72, No.4, pp. I_110-116, 2016.
- 17) Hanley, J.A. and McNeil, B.C.: The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve, Radiology, Vol.143, No.1, pp. 29-36, 1982.
- 18) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告），http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/1st_report.pdf（2017 年 1 月 22 日閲覧）
- 19) 板垣治，丸山喜久：東北地方太平洋沖地震津波による平面道路被害の分析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.72, No.4, pp. I_82-89, 2016.
- 20) 水越湧太，庄司学：南海トラフ地震津波に曝露される道路ネットワークの津波被害推計，土木学会第 71 回年次学術講演会，I-329，pp. 657-658，2016.9.
- 21) 山口弥一郎：津浪と村，三弥井書店，2011.

(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
広域ライフラインの地震リスク評価のためのシナリオ地震選定（口頭）	加古涼介、能島暢呂	第 71 回土木学会年次学術講演会，仙台市	2016 年 9 月	国内
Assessment of Tsunami Inundation Exposure of Energy-related Base Facilities Caused by Anticipated Nankai Megathrust Earthquakes（口頭）	Nojima, N. and Kato, H.	The Seventh China-Japan-US Trilateral Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, Shanghai, China	2016 年 6 月	国際
Modeling Post-Earthquake Serviceability of Railway Systems Based on the Database of the Great East Japan Earthquake Disaster（ポスター）	Nojima, N. and Kato, H.	The 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chili	2017 年 1 月	国際

Functional Damage to Utility Lifelines and Their Restoration Processes in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan (口頭)	Maruyama, Y. and Nojima, N.	The 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chili	2017年1月	国際
Functional Damage and Restoration Processes Of Utility Lifelines in the 2016 Kumamoto Earthquake in Comparative Perspective (口頭)	Nojima, N. and Maruyama, Y.	The 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chili	2017年1月	国際
広域ライフラインを対象とした地震被害復旧シミュレーション手法(口頭)	Le Quang Duc、能島暢呂、加藤宏紀	第36回地震工学研究発表会、金沢	2016年11月	国内
地震による高速道路復旧時間の予測手法の改善(口頭)	五十嵐翼、丸山喜久	第7回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム、熊本大学	2016年12月	国内
Damage ratios of ground level roads after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami (口頭)	Itagaki, O. and Maruyama, Y.	The 6th Asia Conference on Earthquake Engineering	2016年9月	国際
下水道埋設管路網の液状化被害と入力地震動の関係(口頭)	原昌弘、庄司学	土木学会第71回年次学術講演会、仙台市	2016年9月	国内
Seismic Waveforms at Engineering Bedrocks beneath Lifelines Suffered by Liquefaction in the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (口頭)	Hara, M., Shoji, G. and Terajima, R.	The 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile	2017年1月	国際
南海トラフ巨大地震津波に曝露される道路ネットワークの津波被害推計(口頭)	水越湧太、庄司学	土木学会第71回年次学術講演会、仙台市	2016年9月	国内
平成28年熊本地震を対象とした上水道管路被害予測精度に関する検討(口頭)	永田茂	第7回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム、熊本大学	2016年12月	国内
平成28年熊本地震における熊本市の上水道管路施	丸山喜久、永田茂	第7回インフラ・ライフライン減災対策	2016年12月	国内

設の被害概要（口頭）		シンポジウム，熊本 大学		
------------	--	-----------------	--	--

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
An Overview of Functional Damage and Restoration Processes of Utility Lifelines in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan	Nojima, N. and Maruyama, Y.	JSCE Journal of Disaster FactSheets, 2016, FS2016-L-0004, 12p.	2016年7月	国際
Comparison of Functional Damage and Restoration Processes of Utility Lifelines in the 2016 Kumamoto Earthquake, Japan with Two Great Earthquake Disasters in 1995 and 2011	Nojima, N. and Maruyama, Y.	JSCE Journal of Disaster FactSheets, 2016, FS2016-L-0005, 9p.	2016年8月	国際
Exposure of Population and Energy-related Base Facilities to Shaking Intensity Predicted for the Nankai Megathrust Earthquakes	Nojima, N. and Kato, H.	Journal of Disaster Research, Vol.12 No.1	2017年2月1日	国際
Development of Tsunami Fragility Functions for Ground-Level Roads	Maruyama, Y. and Itagaki, O.	Journal of Disaster Research, Vol.12 No.1	2017年2月1日	国際

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