

2018 年北海道胆振東部地震において被災した 道路ネットワークの被害分析

吉成 健人¹・庄司 学²

¹ 学生会員 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: s1920954@s.tsukuba.ac.jp

² 正会員 筑波大学教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: gshoji@kz.tsukuba.ac.jp

2018 年北海道胆振東部地震における北海道厚真町, 安平町およびむかわ町の道路ネットワークの被害について, 被害モード, 液状化の有無の場合分けを行い被害率の特徴を明らかにし, 地震動強さの空間分布との関係を分析した. その上で, 既往研究での地震被害データに本研究で得られたデータを含めて, 北海道胆振東部地震の道路被害の特徴を明らかにした.

Key Words: road network, damage rate, seismic intensity, the 2018 Hokkaido Iburi Tobu earthquake

1. はじめに

2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震では, 道路ネットワークに甚大な被害が生じた. 具体的には, 道路に亀裂, 陥没, 隆起が生じる道路決壊, 橋梁に同様の被害が生じる橋梁災害, 山間部で土砂崩壊が発生し, その土砂により交通支障が生じる斜面崩壊の 3 種類の被害を観測した¹⁾²⁾. これらの実際の様子を図-1 に示す. このような被害のデータを統計的に集計・分析し, 道路ネットワークの被害の特徴を把握することは, 今後の地震発生時の被害想定や発生直後の迅速な復旧対応の観点から極めて重要である.

既往の研究としては, 例えば, Shoji and Nakamura³⁾は 2011 年東北地方太平洋沖地震における道路構造物の被害データを整理して, 道路被害を統計的に分析し, フラジリティ曲線の構築を試みている. 庄司ら⁴⁾は同じく東北地方太平洋沖地震における地震動が極めて強かった地域や, 液状化が空間的にスペシフィックに甚大化した地域の平面道路の被害の特徴を明らかにしている. 水越⁵⁾は, 2016 年熊本地震で被災した道路構造物を液状化および非液状化領域に分類し, 被害率の傾向について考察を行いながら, 被災前後の空中写真の画像処理による被害把握を試みている. 吉成・庄司⁶⁾は北海道胆振東部地震における道路構造物の被害に対して, 被災後の空中写真内での写り方や被害モードで分類を行い, テクスチャ解析に

よる被害把握を試みている. さらに Yoshinari and Shoji⁷⁾は同様に北海道胆振東部地震の道路被害を対象として, 画像処理を用いた被害抽出と混合マトリックスに基づく精度検証を行っている.

本研究では, 北海道胆振東部地震において, 道路ネットワークの被害が顕著であった北海道厚真町, 安平町およびむかわ町を取り上げ, 道路ネットワークの被害の傾向を分析する. さらに, 文献 3), 5)により明らかにされた東北地方太平洋沖地震と熊本地震の被害と比較を行い, 北海道胆振東部地震の被害の特徴を明らかにする. 具体的には, 最大地表面速度 PGV 及び計測震度 IJ の地震動強さと道路の被害率 R [箇所/km] の関係を明らかにする.

2. 分析対象データおよび分析方法

(1) 分析対象データ

本研究では, 北海道庁が管理する道路ネットワークを分析対象とし, 北海道庁より提供された道路被害情報⁸⁾を利用する. その情報をもとに, Google 災害情報マップ⁹⁾のデータに基づいて道路決壊と斜面崩壊の被害地点を目視で同定した. 顕著な被害が見られた厚真町, 安平町, むかわ町を対象地域とした. 斜面崩壊が生じた被害地点の一例を図-2 に示す. 対象とする道路データは, 道路地図 V2012-3⁹⁾に国土地理院の基盤地図情報¹⁰⁾より得られた



(a) 道路決壊（北海道むかわ町）

(b) 橋梁災害（北海道厚真町）

(c) 斜面崩壊（北海道厚真町）

図-1 北海道胆振東部地震における道路被害の実例



図-2 空中写真より同定した被害地点の一例(斜面崩壊)

250m メッシュのデータを適用した。

(2) 地震動強さの空間分布

地震動強さの指標としては、地表面最大速度 PGV 及び計測震度 IJ を適用した。地震動分布は地震動マップ即時推定システム QuiQuake が提供している QuakeMap¹²⁾ のデータを使用した。図-4 に PGV 及び IJ の空間分布を示す。

3. 被害の分析方法

道路決壊及び斜面崩壊の発生件数 X [箇所] を道路延長 L [km] で除し、道路決壊及び斜面崩壊の発生件数 X [箇所] に関する被害率 R [箇所/km] を以下のように定義した。

$$R = X/L \quad (1)$$

この被害率を図-4 に示した地震動強さに対応させて区間ごとに集計した。具体的には、図-5 に示すように、3 町における PGV 、 IJ の空間分布データと道路ネットワークを重ね、道路ネットワークを地震動強さのポリゴンの枠線で分割し、重なっているポリゴンの値を道路ネットワークの PGV 及び IJ とし、区間に対応した道路延長を算出する。次に被害地点を含む地震動強さのポリゴンの値を被害地点の PGV 及び IJ として求め、その発生件数を集計し被害率 R [箇所/km] を算出した。その際、 PGV は 10cm/s ごとにその区間の中央値で集計し、 IJ は気象庁に従い求め 0.1 ごとに集計した。

また、北海道胆振東部地震における道路被害を PGV で集計した結果は、 $PGV \geq 110[\text{cm/s}]$ の領域を 1 区間としてまとめ、同様に計測震度 IJ で集計した結果は $IJ \geq 6.1$ の領域を 1 区間とした。このような処理を既往研究の結果に対して適用するとともに、被害モードや液状化有無の分類後の被害率の集計の際にも適用した。基本的には、被害地点が存在する地震動強さの区間の中で、地震動強さの値が最も大きい区間の道路延長に、その区間以上の

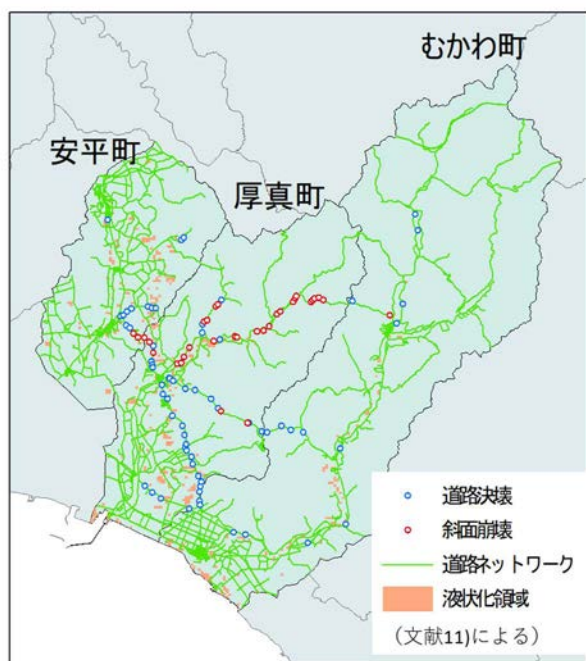


図-3 対象地域での被害地点と道路ネットワーク、液状化領域の分布

対象地域の道路縁データを照合し、不足している道道ならびに町道を付け加えたものを用いた。

対象とした道路総延長は 1234.2km 、道路被害の被害地点数は 97 点であり、そのうち道路決壊が 65 点、斜面崩壊が 32 点であった。3 町における対象道路及び被害地点を図-3 に示す。また、北海道胆振東部地震で発生した液状化領域については、先名・小澤¹³⁾により示された

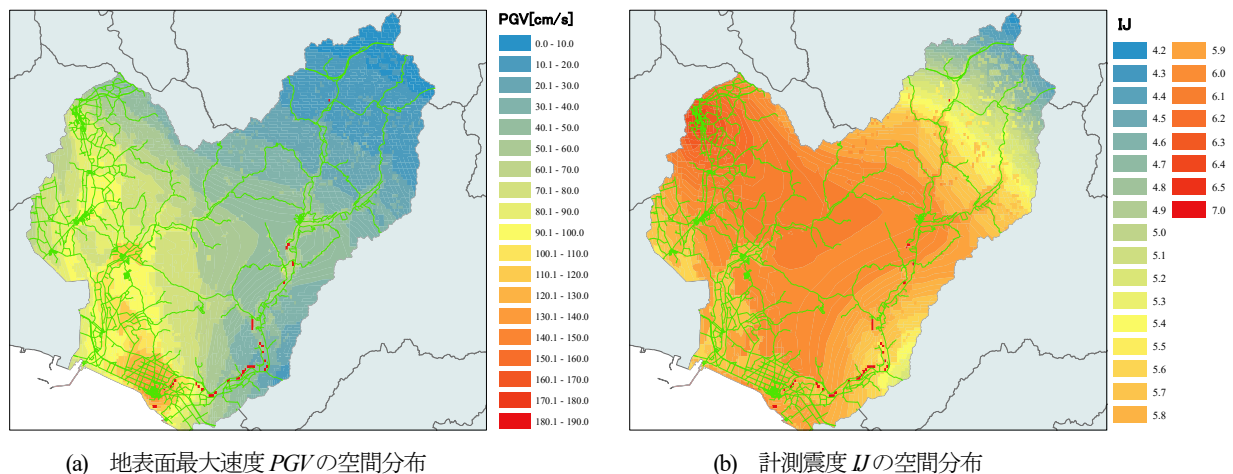


図4 地震動強さの空間分布

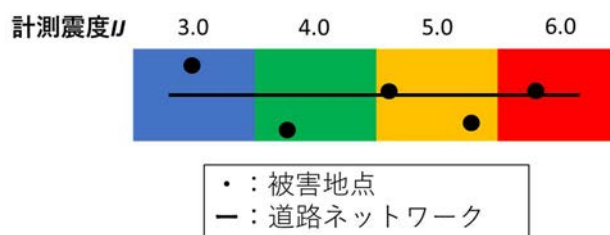


図5 地震動強さを道路ネットワーク、被害地点と重ね合わせる方法

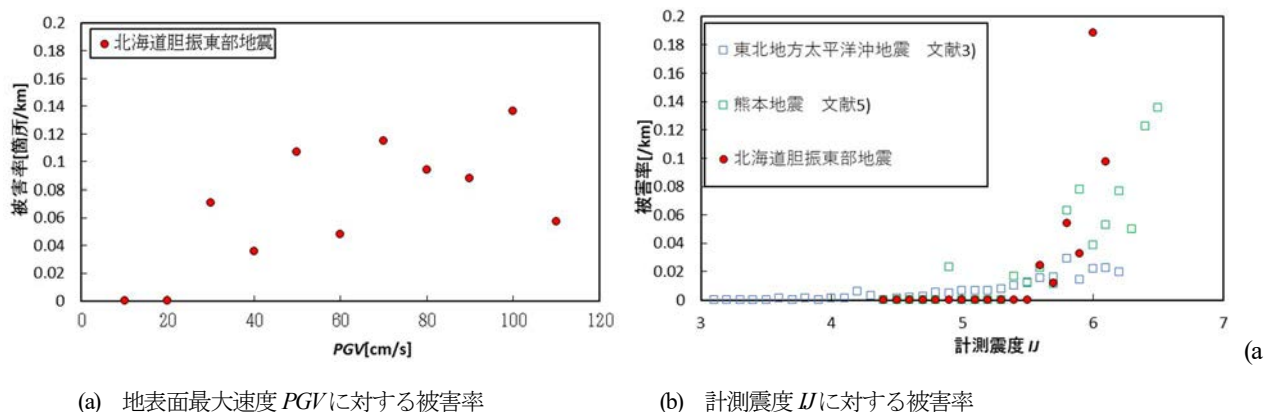


図6 地震動強さと被害率の関係

地震動強さを集計している区間に含まれる道路延長を合算した。

4. 被害率の全体傾向

分析の結果を図-6に示す。計測震度 I_j については、東北地方太平洋沖地震と熊本地震における道路ネットワークの被害率も併せて示している。

図-6 (a)から $PGV=30\sim110$ [cm/s] において被害が発生している。 $PGV=100$ cm/s の時、被害率は最大値 0.136 [箇所/km] であり、 $PGV=70\sim100$ [cm/s] において $R=0.882\sim0.136$ [箇所

/km] と高い被害率を示している。また、道路決壊は $PGV=70\sim110$ [cm/s] に、斜面崩壊は $PGV=50\sim90$ [cm/s] に集中していた。図-6 (b)から $I_j=5.6\sim6.1$ において被害率が急速に高まっている。 $I_j=6.0$ の時、被害率は最大値 0.188 [箇所/km] であり、道路決壊の半数強が分布していた。また、 $I_j=6.1$ の時、 $R=0.097$ [箇所/km] であり、斜面崩壊の半数弱が分布していた。熊本地震では、 $I_j=4.9$ で被害率が始め、 $I_j=5.5$ から高まり始め、 $I_j=6.5$ で最大値を示した。東北地方太平洋沖地震の被害率は、 $I_j=3.6$ の比較的低い領域から $R>0$ [箇所/km] となり、熊本地震よりも低い $I_j=4.5$ において被害率が立ち上がり始めた。これらと比較して、北海道胆振東部地震の被害率は既往地震よりも高い計測

震度の $IJ=5.6$ 付近で立ち上がり始め、 $IJ=6.0$ でピークとなる。また、東北地方太平洋沖地震の被害率よりも全体として高く、熊本地震より高い計測震度で立ち上がり同等以上の被害率となる。

5. 液状化の有無による被害の特徴の違い

北海道胆振東部地震の分析データを液状化の有無により場合分けし、水越³⁾による熊本地震での道路被害データと図-7のように比較する。

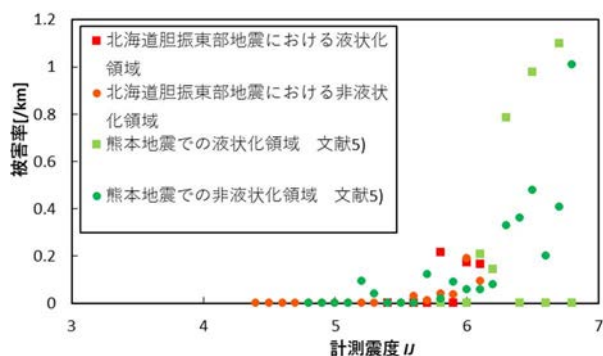


図-7 北海道胆振東部地震と熊本地震の道路被害を液状化の有無で場合分けしたときの計測震度と被害率の関係

北海道胆振東部地震の非液状化領域では計測震度 $IJ=6.0$ で最大値 $R=0.190$ [箇所/km]であった。液状化領域では、 $IJ=5.8\sim 6.1$ で被害率が高く、 $IJ=5.8$ で被害率は最大値 $R=0.213$ [箇所/km]であった。北海道胆振東部地震において、液状化領域での被害率は非液状化領域よりも低い計測震度で最大値をとった。一方で、熊本地震の非液状化領域では $IJ=6.3\sim 6.8$ で高い値を示した。液状化領域では、 $IJ=6.3\sim 6.7$ で高い被害率を示している。

北海道胆振東部地震と熊本地震を比べると、特に液状化領域においては $IJ=5.8\sim 6.0$ 付近で北海道胆振東部地震の被害率が上回っていた。

6. 被害モードによる被害の特徴の違い

北海道胆振東部地震の分析データを道路決壊と斜面崩壊で分類し、その結果を文献3)による東北地方太平洋沖地震での道路被害の被害率と比較した。

北海道胆振東部地震での道路決壊は計測震度 $IJ=5.6$ より発生し始め、被害率の最大値は $IJ=6.0$ で $R=0.139$ [箇所/km]であった。斜面崩壊は $IJ=5.9$ より発生し始め、被害率の最大値は $IJ=6.1$ で $R=0.061$ [箇所/km]であった。一方、東北地方太平洋沖地震における道路被害は $IJ=4.2$ で発生

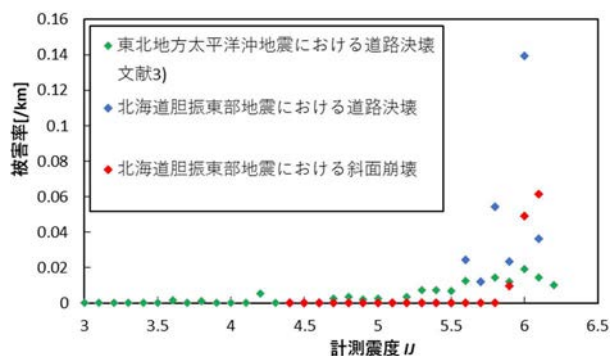


図-8 北海道胆振東部地震と東北地方太平洋沖地震の被害モードによる分類後の計測震度と被害率の関係

し始め、被害率の最大値は $IJ=6.0$ で $R=0.192$ [箇所/km]であった。

道路決壊の被害モードについては、北海道胆振東部地震での被害が東北地方太平洋沖地震よりも高い計測震度 IJ で発生し始める。その一方で被害率については、北海道胆振東部地震の方が $IJ=5.6$ から急激に高まり全体として高い。斜面崩壊の被害モードについても同様の傾向があり、 $IJ=5.9$ から被害率が急激に高まる。

7. 結論

2018年北海道胆振東部地震による強震動を受けた地域の道路構造物を対象として被災データを構築した上で、道路決壊及び斜面崩壊による道路構造物の被害に着目し被害率の観点から被災モードの特徴を考察した。

- (1) PGV については、 $PGV=20\sim 110$ [cm/s]で PGV の増加に伴い被害率が上昇した。 IJ について、被害率は同様の傾向を示し、 $IJ=5.6\sim 6.1$ で比例的に被害率が上昇した。
- (2) 被害モードや液状化の有無を考慮しない場合、北海道胆振東部地震の道路被害は東北地方太平洋沖地震、熊本地震よりも高い計測震度で発生し始め、その後は急激に被害率が高まった。また、北海道胆振東部地震の被害率は熊本地震の被害率と同等以上のレベルだった。
- (3) 液状化の有無を考慮した場合、北海道胆振東部地震の液状化領域での被害率は非液状化領域よりも計測震度が低い領域で最大値を示した。北海道胆振東部地震と熊本地震を比べると、 $IJ=5.8\sim 6.0$ 付近では北海道胆振東部地震の方が被害率が上回っていた。
- (4) 道路の被災モードの観点からは、北海道胆振東部地震の道路決壊の被害は東北地方太平洋沖地震よりも高い計測震度で発生し始め、被害率は $IJ=5.6$ から急激に高まった。北海道胆振東部地震の斜面崩壊の被害率は $IJ=5.9$ から急激に高まった。

謝辞：本研究で活用した資料やデータの一部は、土木学会平成 30 年北海道胆振東部地震緊急調査団（団長：東京大学生産技術所清田隆准教授）の活動の一環として、岐阜大学・能島暢呂教授並びに千葉大学・丸山喜久教授、および、北海道大学・松本高志教授、北見工業大学・宮森保紀准教授、土木技術研究所寒地土木研究所・佐藤京氏、(株)開発工営社・青地知也氏とのヒアリング共同調査により得られたものです。特に、北海道庁建設部土木局道路課を始めとする北海道庁からは道路被害に関する様々なデータをご提供いただきました。また、防災科学技術研究所・先名重樹博士には北海道胆振東部地震の液状化領域のデータをご提供いただきました。ここに、記して関係各位に謝意を表し、深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 北海道庁建設部土木局道路課：北海道胆振東部地震道路被災状況，土木学会緊急調査団ヒアリング，2018.11.
- 2) 公益社団法人土木学会：2018 年北海道胆振東部地震被害調査報告書，丸善，2019.
- 3) Shoji,G. and Nakamura,T. : Development of damage functions on road infrastructures subjected to extreme ground excitations by analyzing damage in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake,Journal of Disaster Research,Vol.9,No.2,pp.121-127,2014.
- 4) 庄司学，中嶋千穂子，吉成健人：2011 年東北地方太平洋沖地震における平面道路の地震被害データに関する分析，日本地震工学会論文集，20 巻，3 号，pp.3_70-3_83，2020.
- 5) 水越湧太：2016 年熊本地震で被災した道路構造物の被害把握，筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文，2018.3.
- 6) 吉成健人，庄司学：2018 年北海道胆振東部地震による道路構造物の被害把握，JCROSSAR2019，pp.292-297，2019.
- 7) Yoshinari,K. and Shoji,G. : Image analysis for road structure damage due to the 2018 Hokkaido Iburi Tobu earthquake, 17th World Conferece on Earthquake Engineering, 2020.
- 8) Google : 災害情報マップ，<http://google.org/crisismap/google.com/2018-hokkaido-earthquake>，(2019 年 5 月 10 日参照)
- 9) 三井造船システム（株）：道路地図 V2012-3，2012.6.
- 10) 国土交通省：国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービス，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>，(2019 年 5 月 9 日参照).
- 11) 先名重樹，小澤京子：平成 30 年北海道胆振東部地震の液状化地点分布と近年の地震による液状化被害率の検討について，2019 年日本地震学会秋季大会（京都），P15P-05.
- 12) 産業技術総合研究所：QuakeMap，<https://gbank.gsj.jp/Quake/QuakeMap/>，(2019 年 8 月 15 日閲覧).

DAMAGE ASSESSMENT ON ROAD NETWORKS IN THE 2018 HOKKAIDO IBURI TOBU EARTHQUAKE

Kento YOSHINARI and Gaku SHOJI

We analyzed seismic damage data on road networks at Atuma, Abira and Mukawa towns in Hokkaido subjected to strong ground motions in the 2018 Hokkaido Iburi Tobu earthquake. We revealed the characteristics of the damage ratio to the ground motion intensities from view of points of damage modes and occurrence of liquefaction. Further we analyzed the dependency of the damage ratio on the ground motion intensities by using *PGV* and instrumental seismic intensity *IJ*.