

2011年東北地方太平洋沖地震において 地震動が主要因と考えられる道路構造物の被害

庄司 学¹・高橋 和慎²・中村 友治³・櫻井 俊彰⁴

¹筑波大学大学院システム情報工学研究科准教授 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

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

²筑波大学大学院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:s1120951@u.tsukuba.ac.jp

³筑波大学理工学群工学システム学類 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

E-mail:s0811237@u.tsukuba.ac.jp

⁴筑波大学大学院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:e0611356@edu.esys.tsukuba.ac.jp

2011年東北地方太平洋沖地震において発生した道路構造物の被害情報を基に、地震動と津波作用の要因を考慮した上で、地震動によって生じたと推察される道路構造物の被害データを抽出し、それらの被害形態の類型化を行い、道路延長に対する被害件数を被害率と定義した上で、これと計測震度の関係を分析した。道路構造物の被害データを路面盛土損傷、斜面損傷、橋梁損傷、その他の損傷の4つに類型化し、それらの中で路面盛土損傷に対して被害率を算出した結果、計測震度5.9～6.0に暴露された道路で被害率が最も高く0.177箇所/kmであることが明らかになった。

Key Words : *The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, ground excitation, road structure, seismic intensity*

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震($M_{JMA}=9.0$)では、津波によって道路構造物に甚大な被害が発生するとともに、東日本の広域におよぶ強震動によってそれらに多数の被害が発生した。本研究では、道路構造物の被害情報を基に、被害の要因が地震動と考えられる被害データのみを抽出し、被害形態の類型化を行い、道路延長に対する被害件数を被害率と定義した上で、これと計測震度の関係を明らかにした。

2. 分析対象とするデータと分析方法

分析対象とした道路構造物の被害情報は表-1の通りである。東北地方整備局、関東地方整備局、東日本高速道路株式会社及び首都高速道路株式会社により公表された東北6県及び関東1都6県の直轄国道及び高速道路の被害情報と、福島県を除く東北5県の各自治体で公表された県管轄道の被害情報を分析し、計726件の道路構造物の被害データを抽出した。これらの中には地震動及び津波作用による被害データ

が混在すると考えられるため、津波浸水域内¹⁾に存在する被害データは主に津波作用に伴う被害データと仮定し、前述の726件の被害データから津波浸水域内の計159件の被災データを除いた計567件の被災データを地震動による道路構造物の被害データと定義した(図-1)。

被害データが属する道路網は、国土数値情報²⁾で提供されている東北6県及び関東1都6県の直轄国道及び主要県道のデータに加え、高速道路及び福島県を除く東北5県の県管轄道をGoogleMapを用いて同定した。その結果、総延長29,865kmの道路網としてモデル化された。なお、被害データと同様の理由により、浸水域内の道路網は対象外としてモデル化していない(図-2)。

また、地震動強さの空間分布としては、図-1に示すように東北6県及び関東1都6県の計測震度分布データを使用した。計測震度分布データは1kmメッシュデータである。計測震度の範囲は最小値2.50、最大値が宮城県栗原市一帯で6.84である。図-3には、対象とする道路網に対する計測震度ごとの道路網の延長距離(以降、道路延長距離)を示す。これより、計測震度3.9～4.0の区間で頻度が最も高くその道路延長距離は1,977kmとなっている。震度階級ご

との道路延長距離を求めると、震度4で11,205km、震度5弱で5,949km、震度5強で5,812km、震度6弱で3,805km及び震度6強で894kmとなっている。

また、任意の計測震度に対して道路構造物に発生した被害件数 X を、その道路延長距離 L [km]で除した値を被害率 R [箇所/km]として次式のように定義した。

$$R = \frac{X}{L} \quad (1)$$

表-1 分析対象とする被害情報

道路管理機関等	被害情報名 (URL)	道路管理機関等	被害情報名 (URL)
東北地方整備局 本局	【防災情報】(記者発表) 東北地方整備局地震災害情報, (第66報), http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisyasaisai/sback/zokuhou1110.htm	関東地方整備局 大宮国道事務所	平成23年東北地方太平洋沖地震における大宮国道管内の被災状況について, (第3報), http://www.ktr.mlit.go.jp/oomiya/04data/kisha/h22.htm
東北地方整備局 岩手河川国道事務所	地震災害情報 岩手河川国道事務所, (第9報), http://www.thr.mlit.go.jp/iwate/bousai/bousai/index.htm	関東地方整備局 首都国道事務所	地震による首都国道事務所管内の国道298号の状況について, (3月11日1850現在), http://www.ktr.mlit.go.jp/syuto/index.htm
東北地方整備局 三陸国道事務所	三陸国道事務所 地震被害情報, (第5, 13報), http://www.thr.mlit.go.jp/sanriku/index.html	関東地方整備局 横浜国道事務所	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震発生に伴う横浜国道事務所管内の道路状況について, (第3報), http://www.ktr.mlit.go.jp/yokohama/report/bn2010.htm
東北地方整備局 仙台河川国道事務所	【防災情報】(記者発表) 仙台河川国道事務所 防災情報, (第17, 21, 24, 30, 31報), http://www.thr.mlit.go.jp/sendai/index.html	青森県	災害対策本部 平成23年東北地方太平洋沖地震の被害について, (第43報), http://www.pref.aomori.lg.jp/
東北地方整備局 山形河川国道事務所	【防災情報】山形河川国道事務所 地震災害情報, (第5, 6, 12報), http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisyasaisai/sback/zokuhou1106.htm	岩手県	3月11日の地震に伴う岩手県管理道路の通行規制状況, (8月12日9時30分現在), http://www.pref.iwate.jp/
東北地方整備局 福島河川国道事務所	【防災情報】福島河川国道事務所 地震災害情報, (第15報), http://www.thr.mlit.go.jp/fukushima/pressedit/disaster_index.html	秋田県	三陸沖を震源とする地震について, (第4, 9報), http://www.pref.akita.lg.jp/
東北地方整備局 郡山国道事務所	【防災情報】郡山国道事務所「平成23(2011年)東北地方太平洋沖地震」に伴う「非常体制」について, (第7, 13, 21報), http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisyasaisai/sback/zokuhou1117.htm	宮城県	平成23年東北地方太平洋沖地震関連通行規制, (5月8日1600現在), http://www.pref.miyagi.jp/ 「東日本大震災」関連公共土木施設被災・応急復旧状況, (8月10日更新), http://www.pref.miyagi.jp/
東北地方整備局 磐城国道事務所	【防災情報】磐城国道事務所 地震に伴う道路防災情報, (第48報), http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisyasaisai/sback/zokuhou1132.htm	山形県	(プレスリリース) 平成23年東北地方太平洋沖地震について, (第4, 10報), http://www.pref.yamagata.jp/
関東地方整備局 本局	関東地方整備局道路部 平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震による直轄国道の被災状況, (平成23年3月23日1400), http://www.ktr.mlit.go.jp/saigai/kyoku_dis00000021.html	東日本高速道路 株式会社	交通の支障となる被害を受けた路線・区間(一覽表), (3月24日6:00時点), http://www.e-nexco.co.jp/
関東地方整備局 常陸河川国道事務所	常陸河川国道事務所(記者発表資料) 東北地方太平洋沖地震の被災状況をお知らせします, (平成23年3月13日, 第3報), http://www.ktr.mlit.go.jp/hitachi/hitachi_dis00003.html	首都高速道路 株式会社	(プレスリリース) 平成23年東北地方太平洋沖地震による影響及び対応について, (平成23年3月14日), http://www.shutoko.jp/
関東地方整備局 宇都宮国道事務所	「平成23年東北地方太平洋沖地震」に伴う、宇都宮国道事務所管内の被災状況等について, (3月11日18時30分現在, 3月12日12時00分現在), http://www.ktr.mlit.go.jp/utonomiya/bousai/old.htm	—	—

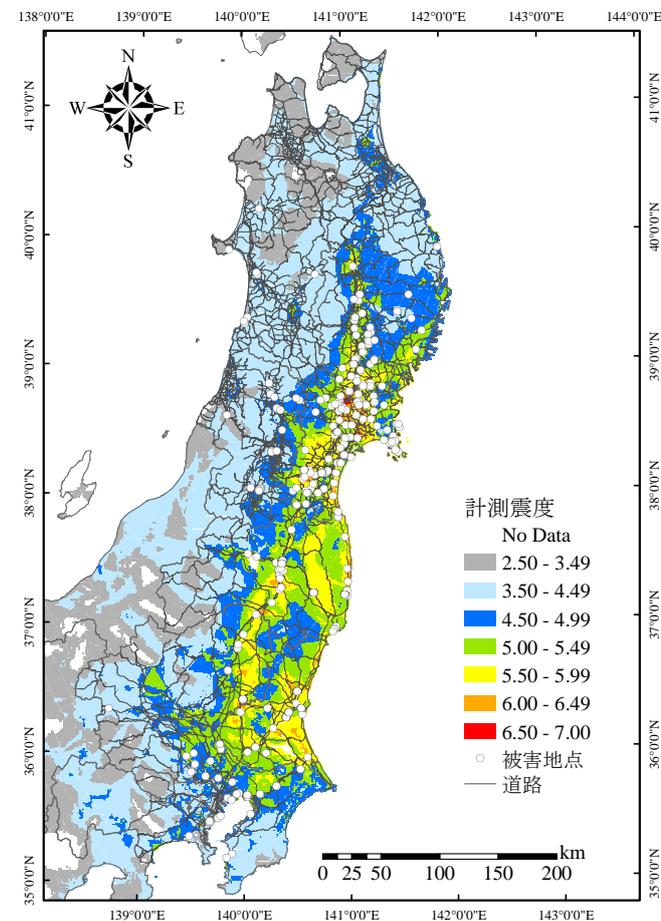


図-1 被害地点, 道路網と計測震度

3. 被害分析結果

(1) 道路被害データの類型化

図-4には、道路構造物の被害形態を類型化した結果を示す。大分類としては、路面盛土損傷、斜面損傷、橋梁損傷、その他の損傷の4つに分類した。路面盛土損傷は道路路面または道路盛土法面に被害が生じた場合の損傷モード、斜面損傷は道路構造物に隣接した斜面が崩壊することにより道路構造物に被害が生じた場合の損傷モード、橋梁損傷は橋梁の

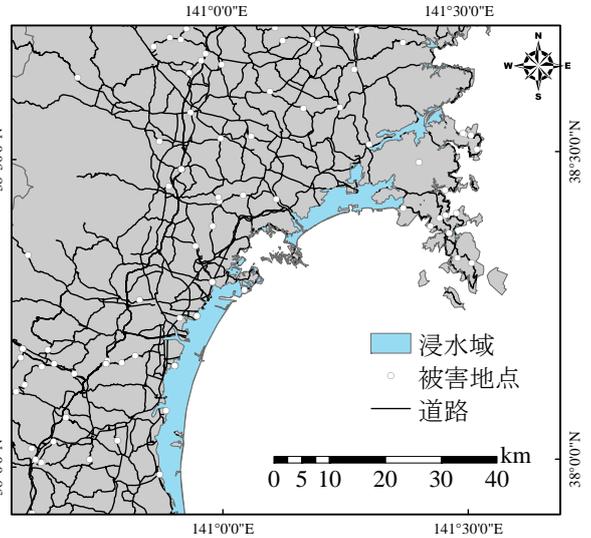


図-2 宮城県塩釜市周辺の拡大図

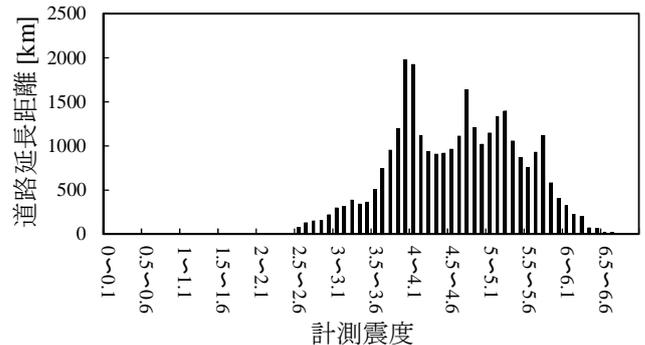


図-3 道路延長距離と計測震度

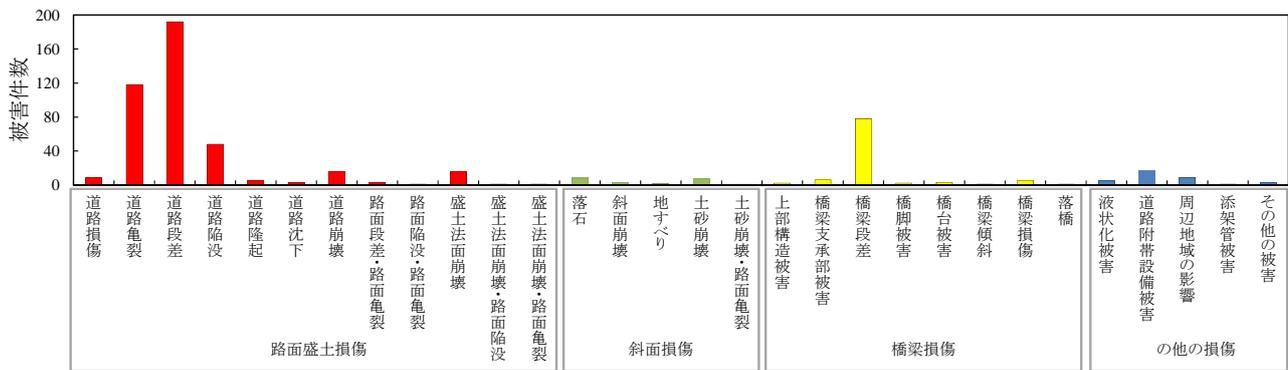


図-4 被害区分別の被害件数

構造の一部また全体に被害が発生した場合の損傷モード、その他の損傷はこれらに分類されない損傷モードである。路面盛土損傷は、道路損傷、道路亀裂、道路段差、道路陥没、道路隆起、道路沈下、道路崩壊、盛土法面崩壊と、路面段差・路面亀裂、路面陥没・路面亀裂、盛土法面崩壊・路面陥没、盛土法面崩壊・路面亀裂の複合損傷を含めた計 12 区分に分類した。ここで、道路損傷は道路亀裂、道路段差等のような具体的な損傷内容は不明であったが、道路被害情報から路面盛土損傷であることが明らかデータであったため、道路盛土損傷に含めた。斜面損傷は、落石、斜面崩壊、地すべり、土砂崩壊と、土砂崩壊・路面亀裂の複合損傷の計 5 区分に分類した。ここで、路面亀裂よりも土砂崩壊の方が損傷の程度が大きいと考え、土砂崩壊・路面亀裂の複合損傷を路面盛土損傷ではなく斜面損傷に定義した。橋梁損傷は、上部構造被害、橋梁支承部被害、橋梁段差、橋脚被害、橋台被害、橋梁傾斜、橋梁被害、落橋の計 8 区分に分類した。その他の損傷は、液状化被害、道路付帯設備被害、周辺地域の影響、添架管被害、その他の被害の計 5 区分に分類した。ここで、その他の被害に関しては、擁壁の浮き、トンネル継ぎ目からの漏水、雪崩が含まれている。

被害分布としては、道路段差が 192 件と最も多く分布し、次に道路亀裂が 118 件、橋梁段差が 78 件、道路陥没が 48 件となっており、この内の 3/4 の被害区分が路面盛土損傷に分類される被害区分となっている。先に述べた被害区分を除いて、各大分類における被害分布を分析すると、路面盛土損傷では道路崩壊及び盛土法面崩壊が共に 16 件と多く、斜面損傷では落石が 8 件、土砂崩壊が 7 件とやや多く分布し、橋梁損傷では橋梁支承部被害が 6 件、橋梁損傷が 5 件と被害が多く分布している。その他の損傷では道路付帯設備被害が 17 件と多く、また周辺地域の影響が 9 件、液状化被害が 5 件とやや多く分布している。

(2) 被害率の算出

図-5 には、被害区分を考慮しない場合の計測震度に対する道路構造物の被害件数 X 及び被害率 R を示す。図-5(a) に示すように、計測震度の領域が 3.1～6.5 の範囲に被害が存在しており、被害件数の分布としては、計測震度が 5.3～5.4 の区間で最も頻度

が高く被害件数は 120 件であり、次に計測震度が 5.7～5.8 の区間で頻度が高く被害件数は 90 件となっている。また、計測震度が 5.2～6.0 の範囲では、計測震度 5.8～5.9 の区間を除けば、被害件数が 34 件以上のやや高い数値を示している。

被害率に関しては、図-5(b) に示すように、計測震度 3.1 から被害が立ち上がり、計測震度が 4.5～5.2 の範囲で被害率が 0.003～0.014 箇所/km の数値となっている。また計測震度が 5.2～5.8 の範囲で被害率が 0.029～0.080 箇所/km の間に分布しており、計測震度が 6.1～6.4 の範囲で被害率が 0.019～0.027 箇所/km の間に集中している。最も高い被害率は、計測震度 5.9～6.0 の区間で被害率は 0.122 箇所/km であり、次に高い数値としては計測震度 5.3～5.4 の区間で被害率は 0.113 箇所/km であった。

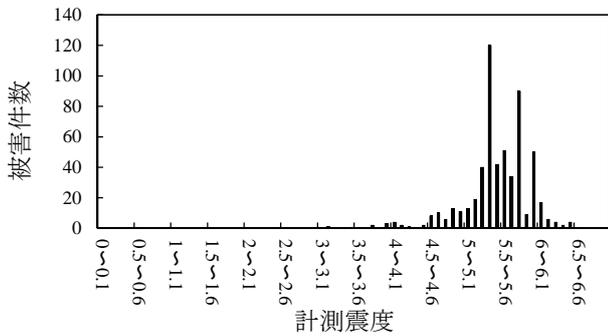
次に、図-4 で類型化した路面盛土損傷の被害区分に限定し、計測震度に対する道路構造物の被害率 R を算出した結果を図-6 に示す。図-6(a) に示すように、計測震度が 5.3～5.4 の区間で頻度が最も高く被害件数は 91 件であり、次に計測震度が 5.7～5.8 の区間で高く 72 件となっている。

被害率に関しては、図-6(b) に示すように、計測震度 3.7 から被害が立ち上がり、その後も計測震度 3.7～5.3 の範囲で被害率は 0.018 箇所/km 未満の値になっているが、計測震度 5.3 を境に被害率が急激に上昇し、計測震度が 5.3～5.8 の区間で被害率が 0.038～0.086 箇所/km の値となっている。また計測震度が 6.0～6.5 の範囲で被害率が 0.040 箇所/km にやや集中している。被害率が最も大きい値を示したのは、計測震度 5.9～6.0 の区間で被害率は 0.117 箇所/km であった。

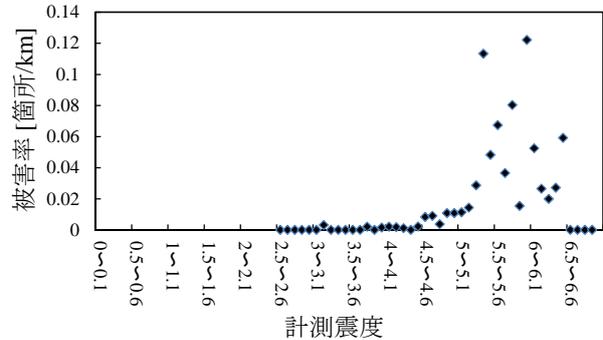
図-7 には、橋梁損傷の被害区分に限定した場合の計測震度に対する道路構造物の被害件数を示す。これより計測震度が 5.3～5.4 の区間で頻度が最も高く被害件数は 26 件であり、次に計測震度が 5.7～5.8 の区間で高く 15 件となっている。

4. まとめ

東北地方太平洋沖地震で地震動により被害を受けた道路構造物の被害情報を基に、被害形態の類型化

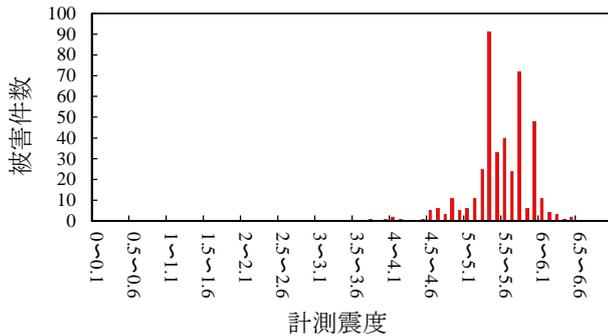


(a) 被害件数と計測震度

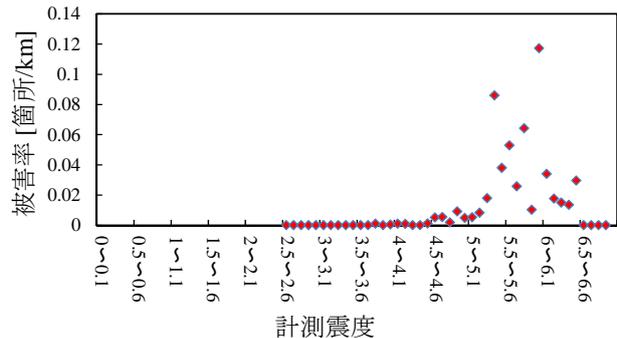


(b) 被害率と計測震度

図-5 全ての被災データを考慮した場合の被害件数及び被害率と計測震度



(a) 被害件数と計測震度



(a) 被害件数と計測震度

図-6 道路損傷に関わる被害

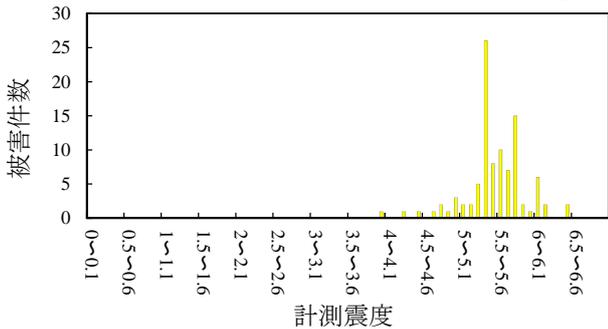


図-7 橋梁損傷に関わる被害の被害件数と計測震度

を行い、道路延長に対する被害件数を被害率と定義した上で、これと計測震度との関係を明らかにした。道路構造物の被害データを路面盛土損傷、斜面損傷、橋梁損傷、その他の損傷の4つに類型化し、それら

の中で路面盛土損傷に対して被害率を算出した結果、計測震度5.9～6.0に暴露された道路で被害率が最も高く0.177箇所/kmであることが明らかになった。

謝辞：計測震度分布は鹿島建設(株)技術研究所から提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 防災情報マッシュアップサービス(GDMS)：津波浸水範囲(平成23年4月22日更新), <http://113.37.94.100/gdms/downloads/index.php>
- 2) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.milt.go.jp/ksj/>

DAMAGE ASSESSMENT ON ROAD STRUCTURES DUE TO GROUND EXCITATION IN THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Gaku SHOJI, Kazunori TAKAHASHI, Tomoharu NAKAMURA and Toshiaki SAKURAI

Damage on road structures due to the ground excitation during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake and tsunami is assessed based on the data provided by related Regional Development Bureaus, expressway sectors and local government sectors. We define a damage ratio R as the value of number of road damage points divided by total road lengths[km]. Maximum value of R is 0.117[points/km] in the range of seismic intensity 5.9 - 6.0.