

2011年東北地方太平洋沖地震において 津波作用を受けた道路構造物の被害

庄司学¹・中村友治²・高橋和慎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

³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

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: s1020970@u.tsukuba.ac.jp

本研究では東北地方太平洋沖地震において生じた道路構造物の被災情報を基に、津波作用によって生じた被害を抽出し、その被災形態の類型化と津波浸水高を指標とした道路被害率の算出を行った。その際には、道路損傷と橋梁損傷に分類した。道路損傷に関わる被害率の最大値は3.2 箇所/kmであり、浸水高1.0~6.0 mの領域において被害率0.05~0.21 箇所/km、浸水高6.0~13.5 mの領域において被害率0.20~0.46 箇所/km、浸水高13.5~19.5 mの領域において被害率0.56~0.66 箇所/km、および浸水高19.5~25.0 mの領域において被害率0.77~1.0 箇所/kmとなった。橋梁損傷に関わる被害率は、浸水高2.5 mまでは0となっているが、浸水高2.5~4.0 mにおいて最大0.15、浸水高5.0~6.5 mの領域において最大0.25、9.0~9.5 mにおいて最大0.38となっており、浸水高12.5 mを越えると1.00に達するデータが存在した。

Key Words : *The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, tsunami, road structure, tsunami damage*

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し、太平洋沿岸の道路網および橋梁に多数の被害が発生した。本研究では、津波作用による道路構造物の被災情報を収集し、被災形態の分類と津波浸水高を指標とした被害率の算出を試みた。

2. 分析対象とするデータと分析方法

道路構造物の被災情報は表-1に示すように、道路管理機関や各自治体等で公開されている。本研究では、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県の国直轄国道及び高速道路の被災情報と、福島県を除く東北5県の各自治体により公表された県管轄道の被災情報を分析した。その結果、計726のデータとなった。これらに

は地震動及び津波による被災データが混在しており、これらから津波浸水域内¹⁾に存在する計159データを抽出した。これらをGoogleEarth及び現地調査の報告書等^{2),3)}に基づいて、142データは被害要因が主として津波作用であることを特定した。特定できなかった残りの17データに関しては今回の分析対象から除外した。

図-1には、道路及び橋梁の被災地点と浸水高の関係を示す。分析対象142データの中で、道路損傷に関する被災データにおいては宮城県に56データ、岩手県に46データ、福島県に4データ、青森県に3データ、茨城県に1データが存在し、橋梁損傷に関する被災データにおいては宮城県に19データ、岩手県に11データ、福島県に2データとなった。

被災データが属する道路網のモデル化に際しては、文献4)に示された東北6県及び関東1都6県の直轄国道及び主要地方道のデジタルデータに加え、高速道路及び福島県を除く東北5県の県道をGoogleEarthの情報を確認しながらネットワークとしてモデル化し、さらにそれらのネットワーク中の津波浸水域のデー

表-1 分析対象とする被災情報

道路管理機関等	被災情報名 (URL)	道路管理機関等	被災情報名 (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/kisyu/saigai/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18:50現在), http://www.ktr.mlit.go.jp/svuto/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/kisyu/saigai/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/kisyu/saigai/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16:00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/kisyu/saigai/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14:00), 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(一覧表), (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_dis000003.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	—	—

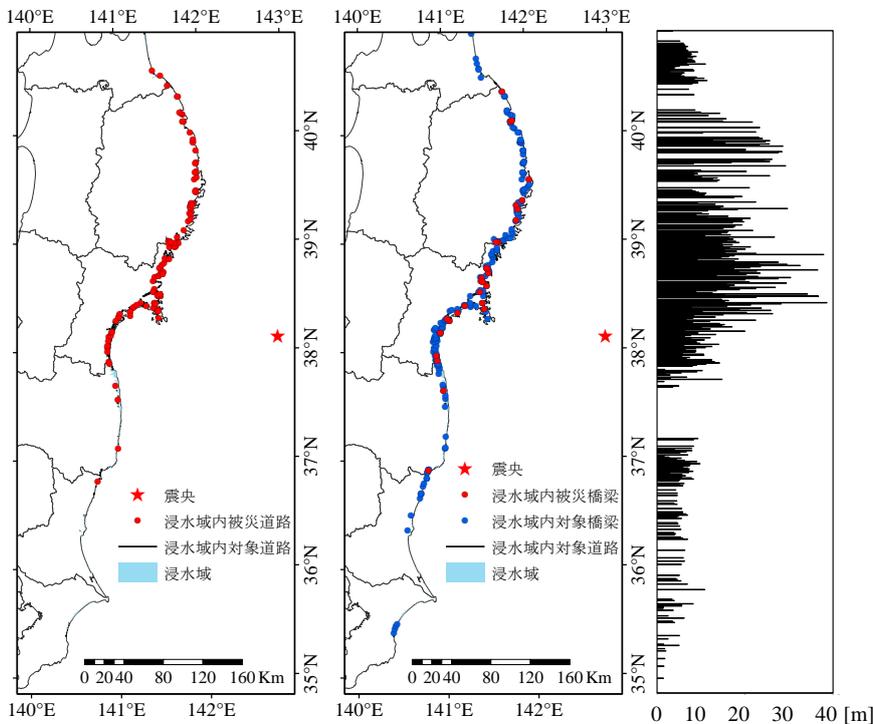
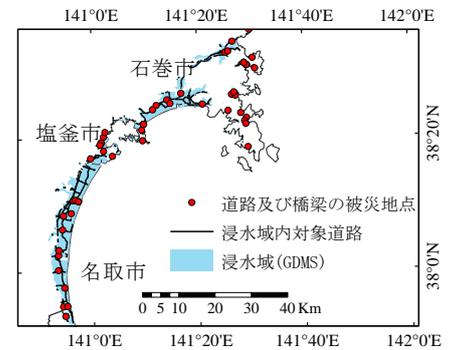
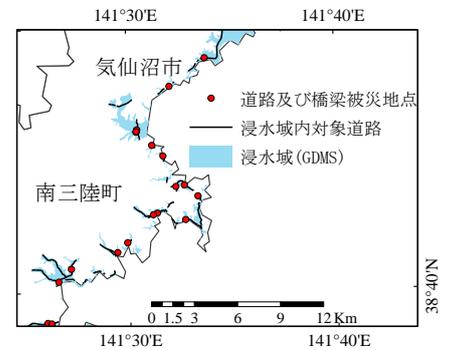


図-1 被災地点と津波浸水高



(a) 宮城県塩釜市周辺の被災状況



(b) 宮城県南三陸町周辺の被災状況

タのみを抽出した。その結果、総延長518 kmの道路網となった。その際に併せて全ての対象道路に架かる橋梁をGoogleEarthで確認しながらモデル化した。その結果、浸水域内対象橋梁は計234データとなった。以上より、特に被害の顕著だった宮城県沿岸の被災状況を図-2(a), (b)に示す。

また、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ速報値⁵⁾を基に太平洋沿岸の津波襲来時の天文潮位を基準面とした浸水高を抽出し、本速報内で測量誤差の小さいとされている信頼度B以上とされるものを選別して、計2981データを抽出し分析に使用した。なお、浸水高の最大値は宮城県女川町出島で38.6 mである。図-1には以上の浸水高データを併せ

て示す。

道路損傷に関する被災分析の際には、道路損傷の発生件数 N_d^r を総道路延長 L_r [km]で除し、道路損傷に関する被害率 R_L^r [箇所/km]を次式のように定義した。

$$R_L^r = \frac{N_d^r}{L_r} \quad (1)$$

一方、橋梁損傷に関する被災分析の際には、橋梁損傷の発生件数 N_d^b を浸水域内橋梁数 N_t^b で除し、橋梁損傷に関する被害率 R_N^b を次式のように定義した。

$$R_N^b = \frac{N_d^b}{N_t^b} \quad (2)$$

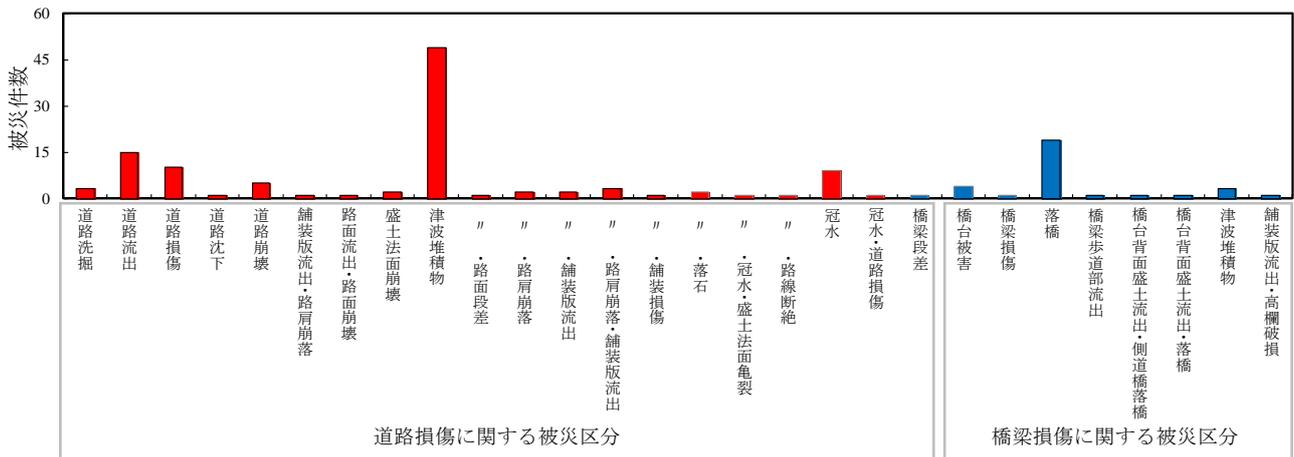


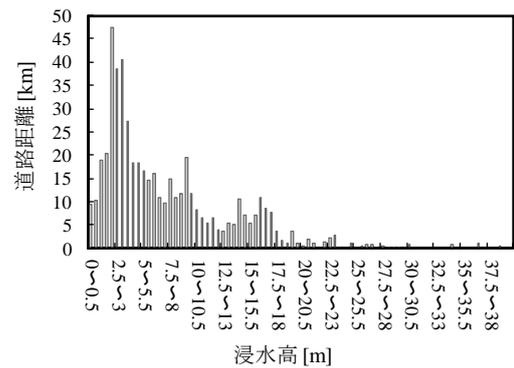
図-3 被災区分と被害件数

3. 被害分析

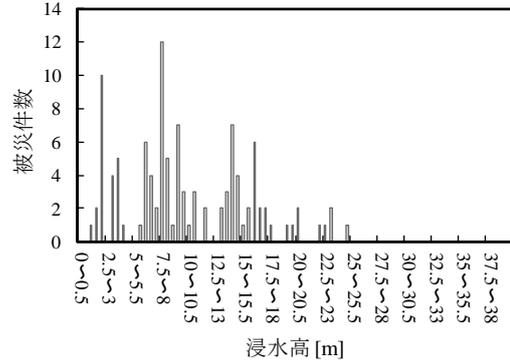
図-3には被災要因を分類し、被災区分ごとに示す。被災区分は道路管理機関等の道路被災情報を基に被災形態を28に類型化し、道路損傷に関する被災分類と橋梁損傷に関する被災分類の2つに大きく区分した。道路損傷に関する被災区分は20分類110データ、橋梁損傷に関する被災区分は8分類32データとなった。道路損傷に関する被災区分では津波堆積物の49件、道路流出の15件、道路損傷の10件が顕著であり、橋梁損傷に関する被災区分では落橋の19件、橋台被害の4件、津波堆積物の3件が顕著であった。

浸水高とその浸水高に曝露された道路距離の関係を図-4(a)に示す。ここでは、モデル化した道路網を1 kmメッシュで分割し、それぞれ最近傍の観測点の浸水高を付与することで浸水高0.5 mごとの道路距離を算出した。道路距離が最大を示したのは、浸水高2.0~2.5 mの区間で47.6 kmであった。次に、浸水高とその浸水高に曝露された道路損傷に関する被災件数の関係を図-4(b)に示す。ここでは、被災データに直線距離で最も近接した観測点の浸水高を付与することで、同じく浸水高0.5 mごとの被災件数を算出した。道路被災件数は浸水高2.0~2.5 m、7.5~8.0 m、14.0~14.5 m及び16.0~16.5 mで頻度が高く、最大を示したのは浸水高7.5~8.0 mの区間で、数値は12件である。なお、被害が存在し浸水高が最大となった区間は浸水高24.5~25.0 mで被災件数は1件、地点は岩手県道44号(岩泉平井賀普代線)の岩手県田野畑村松前沢であった。

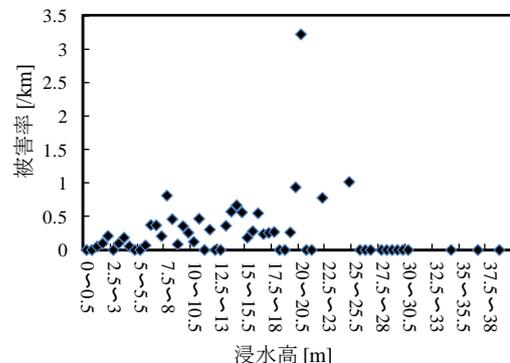
以上の結果と式(1)より、道路損傷に関する被害率 R_L' と浸水高の関係を図-4(c)に示す。被害率 R_L' が最大値となるのは浸水高20.0~20.5 mの区間で3.2箇所/kmであり、この被害率となる被災地点は宮城県道41号(女川牡鹿線)の石巻市大谷川及び石巻市谷川浜の2件であった。これらの点を除くと、浸水高1.0~6.0 mの領域において被害率 R_L' は0.05~0.21箇所/kmで、浸水高6.0~13.5 mの領域において被害率 R_L' は0.20~0.46箇所/km、浸水高13.5~19.5 mの領域にお



(a) 浸水域内対象道路距離と浸水高の関係



(b) 浸水域内被災道路件数と浸水高の関係



(c) 道路被害率と浸水高の関係

図-4 道路損傷に関する被害と浸水高の関係

いて被害率 R_L' は0.56~0.66箇所/km、および浸水高19.5~25.0 mの領域において被害率 R_L' は0.77~1.00箇所

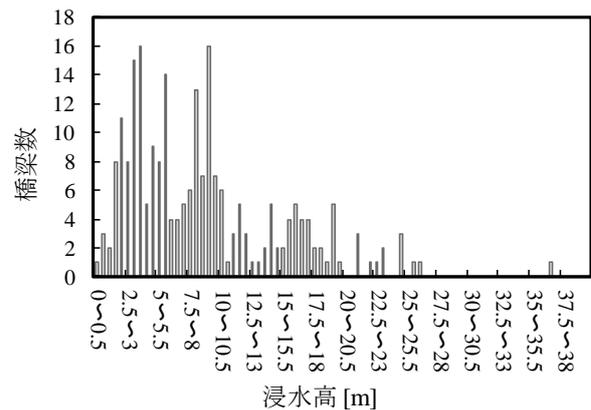
所/kmとなった。ただし、被災件数が最大となった浸水高7.5~8.0 mの区間において被害率 R_L^b は0.81箇所/kmと比較的大きな数値を示している。この被害率 R_L^b を示した地点は宮城県道238号(釜谷大須雄勝線)の石巻市雄勝町の5件、岩手県道259号(崎山宮古線)の宮古市鉾ヶ崎小学校付近、岩手県道231号(吉里吉里釜石線)の釜石市室浜、宮城県道2号(石巻鮎川線)の石巻市十八成浜、国道45号の岩手県九戸郡野田村野田、岩手県道29号(野田山形線)の岩手県九戸郡野田村野田橋付近、岩手県道41号(重茂半島線)の宮古市赤前及び宮城県道238号の石巻市雄勝町釜谷の計12件である。

浸水域内橋梁数と浸水高の関係を図-5(a)に示す。この際には浸水域内橋梁データにそれぞれ最近傍の浸水高データを付与し、浸水高0.5 mごとの橋梁数を算出した。橋梁数の最大値は浸水高3.5~4.0 mと9.0~9.5 mにおける16件であり、被害が存在し浸水高が最大を示したのは浸水高36.5~37.0 mで地点は国道398号の石巻市雄勝町であった。次に、被災橋梁数と浸水高の関係を図-5(b)に示す。なお、浸水域内橋梁数の場合と同じくそれぞれの被災橋梁データに最近傍の浸水高データを付与し、浸水高0.5 mごとの橋梁被災件数を算出した。橋梁被災件数が最大を示したのは浸水高9.0~9.5 mの区間で計6件である。なお、被害が存在し浸水高が最大となった区間は22.0~22.5 mで被災件数は1件、地点は国道398号の宮城県牡鹿郡女川町(女川橋)であった。

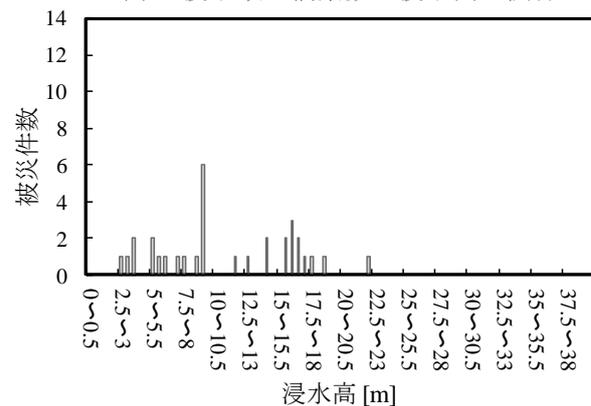
以上の結果と式(2)より、橋梁損傷に関する被害率 R_N^b と浸水高の関係を図-5(c)に示す。浸水高2.5 mまでは被害率 R_N^b は0となっているが、浸水高2.5~4.0 mの領域で被害率 R_N^b は最大0.15、浸水高5.0~6.5 mの領域で被害率 R_N^b は最大0.25、浸水高9.0~12.0 mで被害率 R_N^b は最大0.38となっており、浸水高12.5 mを越えると被害率 R_N^b は1.00になるデータが存在する。被害率 R_N^b が1.00を示した浸水域は12.5~13.0 m, 18.5~19.0 m, 22.0~22.5 mで被災地点は福島県道・宮城県道38号(相馬亘理線)の亘理郡山元町坂元中浜、宮城県道41号の石巻市野々浜(野々浜橋)、国道398号の牡鹿郡女川町(女川橋)であった。

4. まとめ

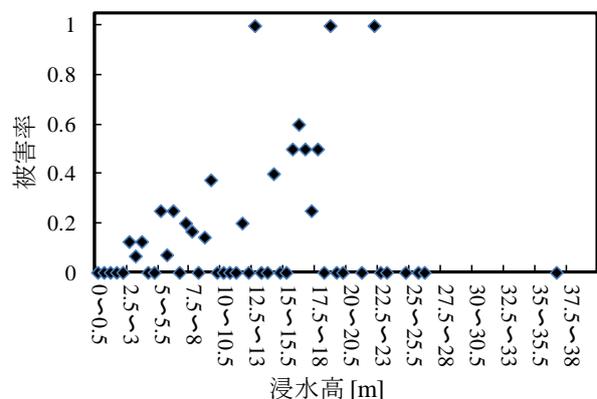
東北地方太平洋沖地震における道路構造物の被災情報を基に、津波作用により被害を受けた道路の被災形態の分類と浸水高を指標とした被害率の算出を試みた。今後の課題として、被災情報を収集できていない福島県、茨城県、千葉県における県管轄道の被災情報を加え、2004年インド洋津波の際に得られたデータと比較するなどして被害関数を構築する予定である。



(a) 浸水域内橋梁数と浸水高の関係



(b) 被災橋梁数と浸水高の関係



(c) 橋梁被害率と浸水高の関係

図-5 橋梁損傷に関する被害と浸水高の関係

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) 土木研究所: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報, <http://www.pwri.go.jp/jpn/news/2011/0826/pdf/ds420213.pdf>
- 3) 宮城県: 県内道路被災状況, http://www.pref.miyagi.jp/road/douro_kikaku/hisaijoukyoushasinn/hisaijoukyoushasinn.html
- 4) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 5) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ: 痕跡調査結果速報値, <http://www.coastal.jp/tjt/>

TSUNAMI DAMAGE ASSESSMENT ON ROAD STRUCTURES IN THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Gaku SHOJI, Tomoharu NAKAMURA, Kazunori TAKAHASHI
and Toshiaki SAKURAI

Damage on road structures due to 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 two damage ratios R_L^r , R_N^b as the value of number of road damage points divided by total road length[km] and that of number of bridge damage points divided by total number of bridges subjected to the tsunami. Maximum value of R_L^r is 3.2[points/km] at Otanigawa Ishinomaki City, Miyagi Prefecture and Yagawahama Ishinomaki City, Miyagi Prefecture, and that of R_N^b is 1.0 at Nonohama Ishinomaki City, Miyagi Prefecture (Nonohama bridge).