

平成 28 年熊本地震の地震動強さと 道路橋被災に関する検討

石井 洋輔¹・梶尾 辰史²・片岡 正次郎³

¹ 非会員 国土技術政策総合研究所 道路地震防災研究室 研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)
E-mail:ishii-y92ta@nilim.go.jp

² 正会員 国土技術政策総合研究所 道路地震防災研究室 研究官 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)
E-mail:kajio-t8910@nilim.go.jp

³ 正会員 国土技術政策総合研究所 道路地震防災研究室 室長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)
E-mail:kataoka-s92rc@nilim.go.jp

平成 28 年熊本地震は、熊本県熊本地方において最大震度 7 の地震が 2 回発生し、多くの建築構造物や道路構造物の被災が報告された。一方、熊本地方では多数の強震記録も得られており、観測点近傍の道路橋の被災率や被災度と地震動強さの関係を分析することが可能である。本研究は、平成 28 年熊本地震の強震記録を道路橋の被災状況のデータを用い、地震動強さと被災率及び被災度を算出し、地震動と道路橋の被災の関係の検討を行ったものである。

Key Words: *The 2016 Kumamoto Earthquake, roadway bridge damage, JMA seismic intensity, strong ground motion observation network*

1. はじめに

平成 28 年 4 月 14 日に気象庁マグニチュード 6.5、4 月 16 日に気象庁マグニチュード 7.3 の熊本県熊本地方を震源とする地震が発生し、熊本県ではそれぞれ震度 7 を観測した¹⁾。この一連の地震は布田川断層帯及び日奈久断層帯によるものとされ²⁾、2 回の大きな地震動により、多くの建築構造物や道路構造物などの被災が報告されている³⁾⁴⁾⁵⁾。その中でも、熊本地方に架橋されている道路橋には、地震動による被災が多数発生しており³⁾、支承部や橋台の被災が多く見られた⁴⁾。また、代表的な被災事例として、ロッキング橋脚を有する道路橋の被災や橋台背面盛土の変状による被害が挙げられる⁵⁾。

強震観測網が整備された現在、地震発生時には多くの観測点で強震記録が得ることができ、強震観測記録を用いることで、地震動による建築構造物や道路構造物の被災との関係を考察している研究はさまざまある⁶⁾⁷⁾⁸⁾。既往の検討では建築構造物の被災率と地震動指標の考察⁶⁾⁷⁾、道路盛土と地震動指標の考察⁸⁾を行っているが、計測震度や SI 値などの広く知られている地震動強さを示す指標との相関は高くない。しかし、地震動による被災データと地震動指標との関係をマクロ的に分析している既往研究もあり⁹⁾、地震動強さを示す指標と道路橋など

の構造物の被災の関係に関する知見を蓄積していくことは有益であると考えられる。

そこで本研究は、(国研)防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net、国土交通省、気象庁、地方自治体、および NEXCO 西日本により、熊本県内の強震観測点 48 地点で取得されたデータを用いて、計測震度、SI 値を計算した。次に、観測点近傍の道路橋を抽出し、道路橋の被災状況から被災率、被災度の 2 つの指標を定義し算出することで、平成 28 年熊本地震におけるそれらとの関係の検討を行った。また、震度 6 弱以上を観測した強震記録の加速度応答スペクトルにより、道路橋の被災状況と地震動強さとの関係を考察した。

2. 道路橋の被災率に関する検討

(1) 道路橋の被災率の算出

対象とした観測点は、熊本地方に設置され、平成 28 年熊本地震の本震において震度 6 弱以上を観測し、かつ観測点の半径 1km に道路橋があるものとした。(国研)防災科学技術研究所、国土交通省、気象庁、地方自治体および NEXCO 西日本の強震観測地点で、震度 6 弱以上を観測したものは全部で 48 地点であり(図-1)、その中の合志市御代志には、近傍に道路橋がないので除外し

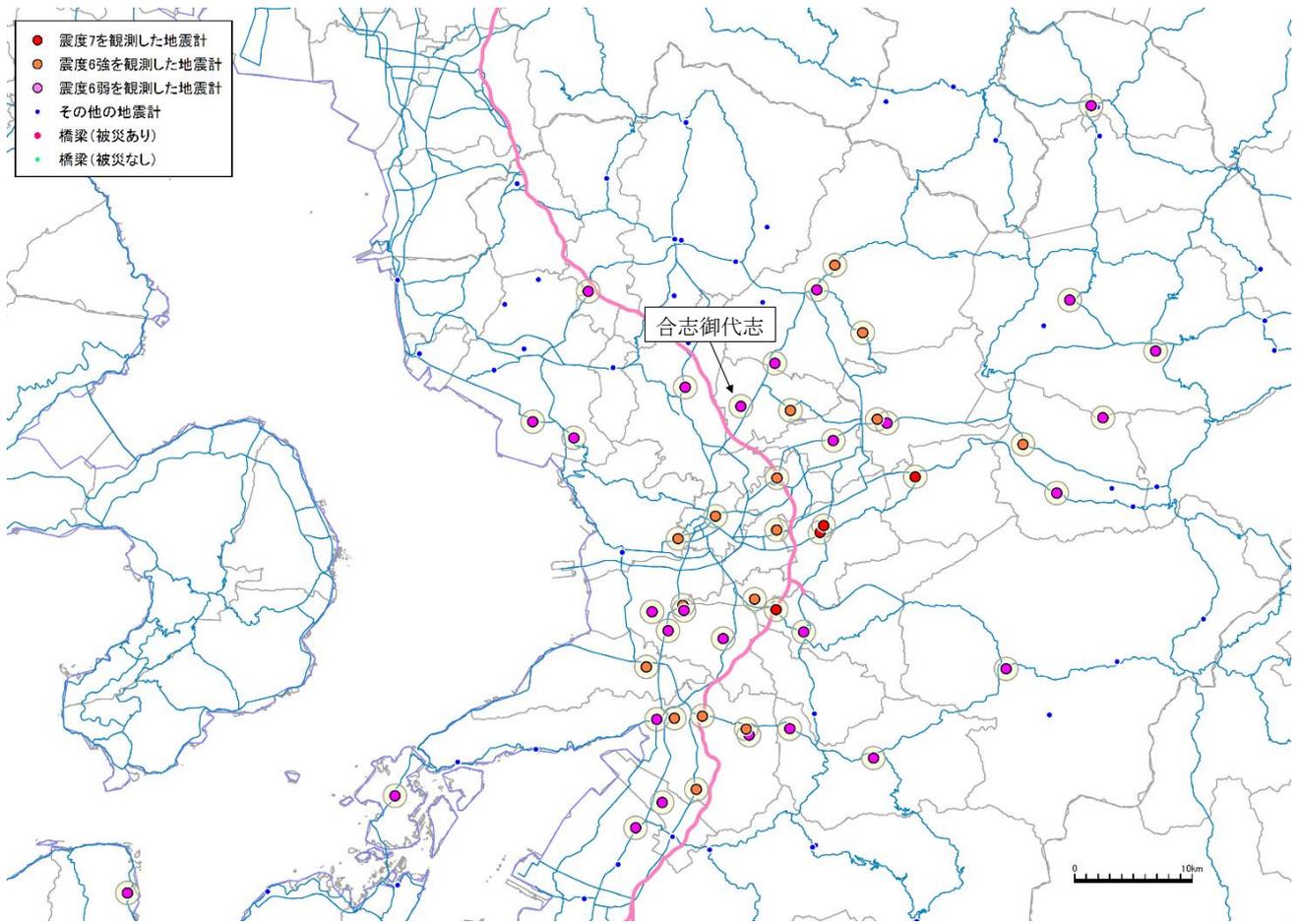


図-1 熊本地方の強震観測点

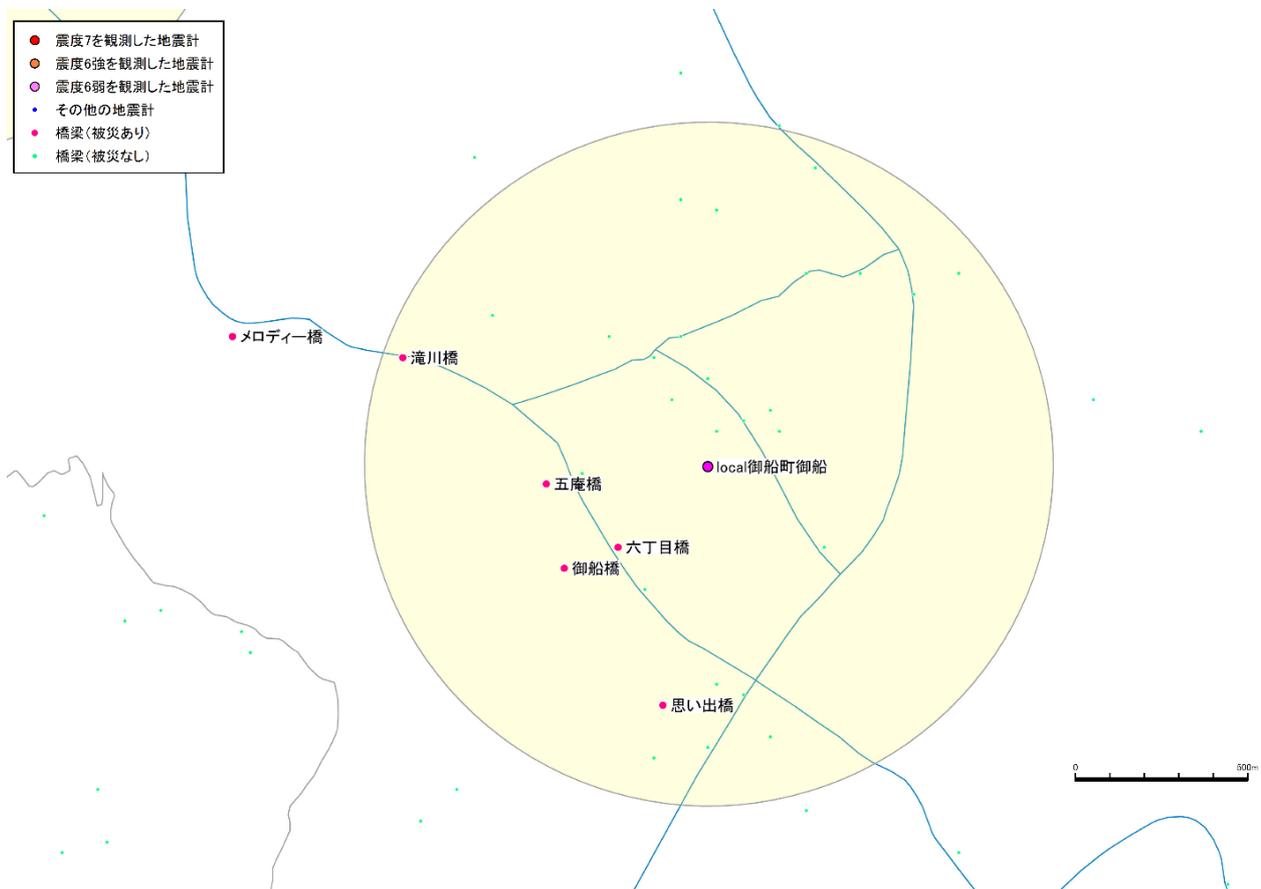


図-2 強震観測点の半径 1km 内の道路橋

た。よって本研究では、合志市御代志を除外した47地点の強震記録を対象とした。本研究で対象とする、47地点の計測震度、SI値、半径1km以内の橋梁数及び被災率を表-1に示す。表-1より、被災率を見ると0%がほとんどであるが、震度6弱の観測点でも近傍で道路橋の被災が見られるケースがあることがわかる。

次に対象とする道路橋を抽出するため、熊本地方の震度6弱以上を観測した観測点と道路橋を被災あり・なしで分類してプロットした。被災した道路橋は、地震発生後に道路管理者が行った点検において、道路橋自体の損傷や、舗装ひび割れ等の軽微な損傷が発見されたものを被災橋梁とした（平成28年5月16日時点で集計した情報）。そして観測点を中心に、半径1kmの円を作図して観測点近傍にある道路橋を集計した。その例を図-2に示す。抽出した道路橋は全部で1478橋であり、観測点近傍で被災が見られる道路橋は37橋である。なお、被災率は観測点ごとに半径1km以内にある道路橋とその中の被災した道路橋の割合を被災率と定義した。

(2) 道路橋の被災率との相関分析

道路橋の被災率と地震動強さの相関分析を行った。本研究での検討には、地震動強さの指標として一般的に使用される、計測震度とSI値を用いた。それぞれ図-3、図-4に示す。なお、計測震度は最大加速度や速度に関して対数関係にあることから⁷⁾、計測震度の指数を横軸に採用した。

図-3に関して、計測震度5.5~6.4相当では被災率0%の観測点が見られるが、計測震度6.5以上では、被災率0%の観測点はなくなることから、計測震度が大きくなると道路橋被災率が増加することが考えられる。また図-4では、SI値が140(kine)程度を超えると、被災率0%が見られなくなる。

一方、図-3および図-4の相関係数に着目すると、建築構造物を対象とした検討⁷⁾とほぼ同じ値が得られ、どちらも道路橋の被災率との相関は良くない。この原因として、計測震度、SI値の対象とする地震動の周期帯と道路橋の被災と相関がある周期帯がずれていることが原因であると考えられる。またサンプル数が少ないことや、観測点近傍の道路橋数が均一でないことも影響している可能性がある。

3. 道路橋の被災度に関する検討

観測点近傍に被災が見られた道路橋を表-2に示す。被災概要は、入手した情報を基に再整理した。これにより、平成28年熊本地震においては、支承などの道路橋の部材が多く被災していることが改めて確認できる。

表-1 6弱以上を観測かつ半径1km以内に道路橋がある観測点

計測震度	SI値 (kine)	半径1km内橋梁数	被災率 (%)	区分	観測点名称
6.7	211.1	30	43	local	益城町宮園
6.7	184.1	24	17	NEXCO	御船IC
6.6	180.8	7	43	local	西原村小森
6.5	141.7	10	40	KiK-net	益城
6.4	120.0	25	4	NEXCO	熊本IC
6.4	125.6	16	0	local	菊池市旭志
6.2	102.3	78	5	K-NET	宇土
6.2	123.9	35	0	local	嘉島町上島
6.2	104.9	9	0	local	合志市竹迫
6.2	130.4	20	0	local	南阿蘇村河陽
6.1	101.9	3	0	KiK-net	菊池
6.1	39.2	23	0	K-NET	矢部
6.1	101.5	35	0	local	宇城市豊野町
6.1	87.2	25	0	local	大津町大津
6.0	87.2	36	3	JMA	熊本西区春日
6.0	98.2	35	0	JMA	宇城市松橋町
6.0	95.5	6	0	K-NET	熊本
6.0	91.2	106	0	local	宇城市小川町
6.0	70.7	45	0	local	熊本中央区大江
6.0	91.2	66	0	MLIT	加勢川水門
6.0	73.2	26	0	NEXCO	松橋IC
5.9	83.8	78	1	local	宇城市不知火町
5.9	79.4	28	4	local	熊本南區城南町
5.9	90.3	99	1	local	熊本南區富合町
5.9	71.2	2	0	JMA	南阿蘇村中松
5.9	74.1	25	0	local	熊本美里町馬場
5.8	100.1	42	5	local	阿蘇市内牧
5.8	67.8	33	0	KiK-net	豊野
5.8	66.2	13	0	local	菊陽町久保田
5.8	61.9	4	0	local	熊本北區植木町
5.8	76.1	36	0	MLIT	美登里観測所
5.7	62.6	22	5	K-NET	大津
5.7	53.5	32	16	local	御船町御船
5.7	77.2	24	0	local	菊池市隈府
5.7	79.3	41	0	local	玉名市王水町
5.7	58.4	45	0	local	南阿蘇村河陰
5.7	64.2	50	0	local	氷川町島地
5.7	44.3	13	0	local	和水町江田
5.7	75.6	64	0	MLIT	緑川下流出張所
5.6	42.9	23	0	K-NET	砥用
5.6	55.3	21	0	local	菊池市泗水町
5.6	61.4	9	0	local	玉名市横島町
5.5	34.8	12	0	JMA	上天草市大矢野町
5.5	56.4	22	0	KiK-net	小国
5.5	60.3	4	0	K-NET	一の宮
5.5	38.4	15	0	local	天草市五和町
5.5	49.8	63	0	local	八代市鏡町

※local：地方自治体の震度計

本研究では、これらの道路橋の被災と地震動強さを示す指標の関係を分析するため、観測点近傍の被災した道路橋の状況から道路橋の被災度を定義し、被災度と計測震度、SI値の関係の考察を行った。道路橋の被災度の分類には、被災状況を道路震災対策便覧にて定義されてい

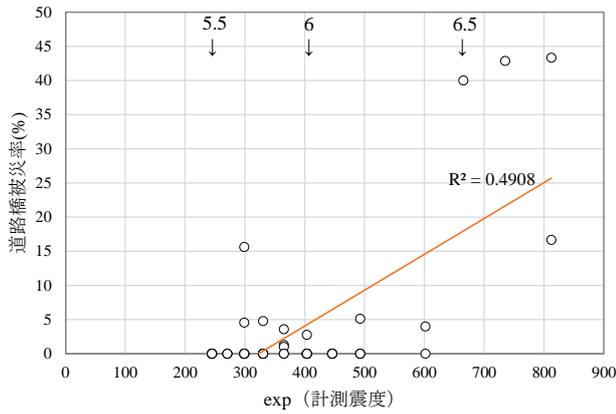


図-3 計測震度—被災率

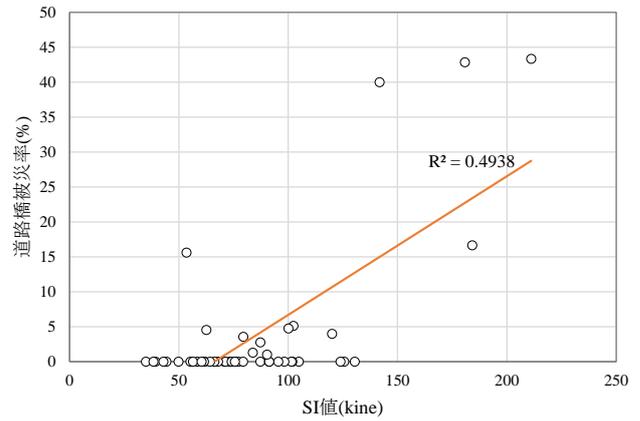


図-4 SI値—被災率

表-2 観測点近傍の被災道路橋と被災概要

観測点名	被災橋梁名	管理区分	施工年次	橋長(m)	路線	被災概要*H28.5.16時点	被災度
宇城市不知火町	永代橋	宇城市	1986	70.8	市道南豊崎松橋線	桁ずれ	2
阿蘇市内牧	内牧橋(阿蘇市内牧)	熊本県	1956	81.6	県道145号瀬田熊本線	橋台、伸縮、支承損傷	3
	新橋	阿蘇市	2004	82.2	市道新橋線	上部工移動	2
K-NET大津	上井手橋	国土交通省	1970	23.0	国道57号	歩道部に段差	1
熊本南区富合町	西川橋	熊本市	1980	16.0	市道榎津大町線	上部工のズレ	2
熊本南区城南町	火の君橋	熊本市	1988	94.0	国道266号	伸縮装置の破損	1
御船町御船	滝川橋	御船町	1979	115.8	町道滝川橋線	橋脚損傷	2
	御船橋	御船町	1991	93.7	町道御船高校線	杏座損傷	1
	思い出橋	御船町	1991	86.4	町道一丁目若宮線	杏座損傷	1
	五庵橋	御船町	1993	103.5	町道上迎町牛ヶ瀬線	杏座損傷	1
	六丁目橋	御船町	2012	3.4	町道御船高校線	橋台損傷	2
NEXCO熊本IC	神園橋	熊本市	1971	52.0	市道石原町長嶺町第1号線	上部工が橋軸方向に移動、橋台と橋面で段差	3**
JMA熊本西区春日	白川橋	熊本市	1960	149.0	県道熊本停車場線	伸縮装置部で段ずれ、支承部の破損	3**
K-NET宇土	宇土跨線橋	国土交通省	1960	55.0	国道57号	P4伸縮部段差1cm未満、A1巻込み部ブロック・モルタルひび割れ・うき	1
	無名橋125.592	国土交通省	1974	3.3	国道57号	地覆ひび割れ・うき、防護柵グラつき、舗装ひび割れ	1
	築篋橋	国土交通省	1962	23.4	国道57号	護岸ひび割れ・うき	1
	築籠橋橋側歩道橋(上り)	国土交通省	1974	26.1	国道57号	舗装ひび割れ	1
NEXCO御船IC	秋只橋	御船町	1974	60.4	町道小坂線	支承損傷 変位制限装置損傷	2
	小坂橋	御船町	1976	115.2	町道植木原竹下線	杏座損傷	1
	八竜橋	御船町	1978	95.5	町道八竜陣線	杏座損傷	1
	無名橋(116-3)	御船町	1969	5.8	町道小坂八竜線	橋台損傷	2
益城町宮園	畑中橋	熊本県	1974	25.0	国道443号	支承異常	2
	第二寺迫橋*	熊本県	1974	4.6	国道443号	側面損傷	1
	小柳橋	熊本県	1995	4.5	県道57号益城矢部線	側面損傷	1
	寺迫橋	熊本県	1972	56.2	熊本高森線	上部工、下部工移動	3
	新木山橋	熊本県	2002	42.4	国道443号	橋台損傷	2
	寺迫第一橋*	益城町	1973	6.0	町道寺迫線	下部工破損	2
	宮園橋	益城町	1977	25.0	町道赤井・宮園線	橋台損壊	2
	寺迫第二橋*	益城町	1969	6.7	町道寺迫・宮園線	伸縮装置異常	1
	城之本橋	益城町	1976	5.1	町道井尻・地藏寺線	橋台横方移動	2
	木山橋	益城町	1981	33.3	町道横町線	橋台損壊	2
	第一畑中橋	益城町	1961	34.3	町道赤井木山線	橋台、橋脚損壊	3
	酒場橋	益城町	1973	10.5	町道府内・安永線	橋台のひびわれ	2
	安永橋	益城町	1970	18.2	町道五楽・安永線	橋台の段差	1
西原村小森	布田橋	熊本県	1974	23.0	県道28号熊本高森線	支承損傷、 パラベット損傷	3
	布田橋側道橋	熊本県	不明	27.4	県道28号熊本高森線	桁移動	2
	北向橋	西原村	1975	18.0	村道布田本村北向線	支杏損傷	2

*: KiK-net益城近傍の橋梁 ** : 4)より「被災度3」とした。

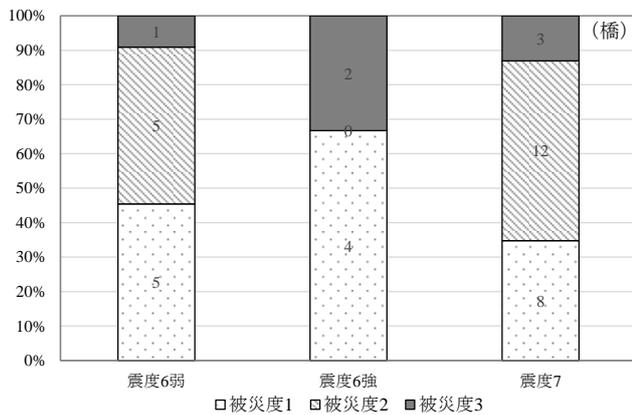


図-5 震度階一被災度

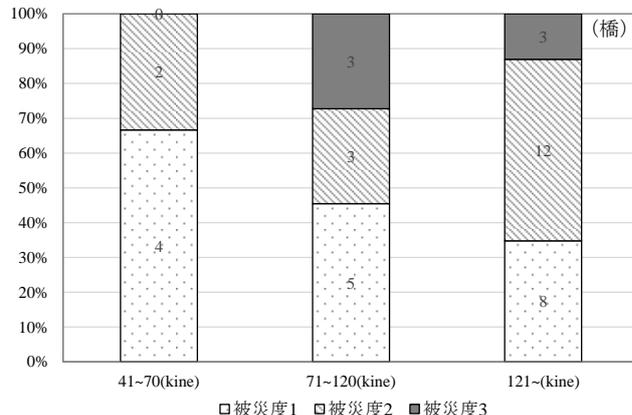


図-6 SI値一被災度

る被災度区分¹⁰⁾に当てはめて分類することがよく行われているが、本研究で取り扱う道路橋の被災状況のデータからでは、その被災度区分を判断することは困難である。よって本研究では、表-2に記載されている被災状況から読み取れる範囲で被災度を定義し、分類することとした。具体的には、道路橋の耐荷力に関係すると思われる被災を「被災度2」、道路橋の耐荷力に関係すると思われる被災が、2つ以上ある場合を「被災度3」、道路橋の耐荷力に関係がないと思われる被災を「被災度1」と定義した。

被災した道路橋の近傍で観測された計測震度をもとに、気象庁震度階別で道路橋の被災度ごとに割合を示したものを図-5に示し、SI値と計測震度の関係¹¹⁾を参考にSI値を区分して、同様に被災度の割合を示したものを図-6に示す。なお、KiK-net 益城近傍の被災した道路橋は、表-2に示したように益城町宮園近傍の道路橋に含まれているが、分析の際には重ねて集計を行った。

図-5、図-6を見ると、あまり大きな差はないが、SI値と被災度の関係について、SI値が大きいくほど「被災度2」と「被災度3」の合計の割合が増加している傾向がある。しかし、サンプル数と道路橋の被災情報が十分とは言えない。

4. 加速度応答スペクトルでの検討

観測点近傍に道路橋がある47地点の加速度応答スペクトル図(減衰定数0.05)を図-7に示す。加速度応答スペクトルを、近傍に「被災度3」の道路橋があれば赤色、「被災度3」がなく「被災度2」道路橋があれば青色、近傍に「被災度1」の道路橋しかなければ黒色で示した。また被災が見られなかった観測点の加速度応答スペクトルを灰色で示した。

図-7より、既往研究において、0.1~0.5の短周期は構造建築物の被災に相関がないとされている¹²⁾。短周期に着目すると、「被災度2」や「被災度3」の応答より、

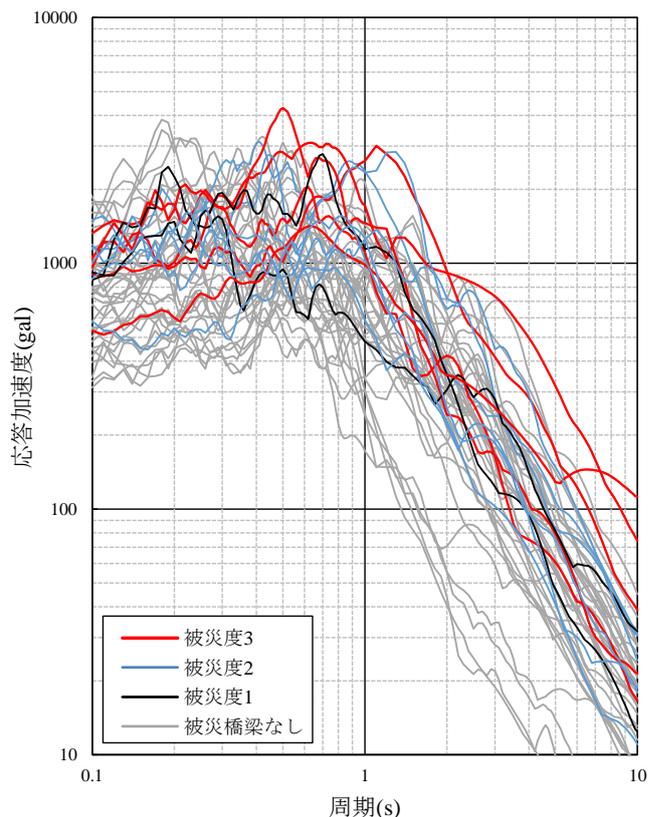


図-7 加速度応答スペクトル(減衰定数0.05)

「被災橋梁なし」の応答が上回っているものがある。短周期に関して、道路橋の被災の有無での傾向が見られなかったことから既往研究と同様の傾向が得られ、この原因として、入力損失の影響が考えられる¹³⁾。

また、建築物への影響が大きいとされる周期1.0~1.5秒¹⁴⁾に着目すると、近傍の道路橋に被災があった観測点の応答が、比較的大きい傾向にある。その中でも、赤色で示した「被災度3」は他の応答と比べ大きい傾向が見られた。以上より、平成28年熊本地震の強震記録を用いた加速度応答スペクトルにおいても、既往研究と同様の傾向が得られた。

5. まとめ

平成 28 年熊本地震によって観測された強震記録と、道路橋の被災状況を用いることにより、地震動の性質と道路橋被災の関係の検討を行った。本研究により得られた成果を以下に示す。

- ①被災率に着目した検討では、計測震度や SI 値と被災率の相関は高くなく、建築構造物を対象とした検討と同様の結果となった。
- ②被災度に着目した検討では、SI 値が大きくなると道路橋の耐荷力に影響する被災の割合が増加する傾向が見られた。
- ③加速度応答スペクトルを用いた検討では、0.1~0.5 秒の周期、1.0~1.5 秒の周期に関して既往の研究と同等の傾向が得られた。

今後これらの検討をさらに進め、道路橋被災と地震動強さとの関係の検討を行っていききたい。

謝辞：本研究では、強震観測記録を国立研究開発法人防災科学技術研究所、気象庁、熊本県、西日本高速道路株式会社から提供していただき、平成 28 年熊本地震の道路橋被災状況（表-2「被災概要」）は熊本県のご協力のもと収集しました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁ウェブサイト：
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikai/event-list.html>(2016.8.30 閲覧).
- 2) 平成 28 年(2016 年)熊本地震について
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/30a/kai-setsu201604301530.pdf> (2016..8.31 閲覧).

- 3) 土木学会地震工学会：平成 28 年(2016)熊本地震地震被害調査結果速報会
<http://committees.jsce.or.jp/eec205/node/26>.(2016.8.31 閲覧) .
- 4) 国土交通省：第 5 回道路技術小委員会配付資料、
<http://www.mlit.go.jp/com-mon/001136057.pdf>.(2016.7.12 閲覧).
- 5) 常田賢一：平成 28 年熊本地震の現地調査による被害の特徴と今後の対応に関する考察。
http://csi.or.jp/uploads/2016kumamoto_jishin_lv1.pdf(2016..8.31 閲覧).
- 6) 境有紀、瀧瀬一、神野達夫：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、第 549 号 pp.43-50, 2011.
- 7) 境有紀：強震観測点周辺の被害データを用いた地震動の性質と建物被害の関係の検討、日本地震工学会論文集第 7 巻 第 2 号 (特集号) ,2007.
- 8) 片岡正次郎、長屋和宏、松本幸司：新潟県中越地震時の道路盛土被害の分析、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) , pp.588-576, 2015.
- 9) 畑明仁、片岡正次郎：2011 年東北地方太平洋沖地震による橋梁被害のマクロ分析、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) , pp.676-679, 2016.
- 10) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）平成 18 年度改定, pp.97-99, 2007.
- 11) 気象庁：震度に関する検討会（第 4 回）
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/studypanel/shindo-kentokai/kentokai4/ken4-1.pdf>
- 12) 林佑樹、飯塚裕暁、汐満将史、小林雄、境有紀：2011 年東北地方太平洋沖地震の宮城県における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性、日本地震工学会論文集 第 7 巻 第 2 号 (特集号) ,2007.
- 13) 中尾吉宏、片岡正次郎：道路橋杭基礎における地震動の入力損失の基礎的検討、性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2016.

PRELIMINARY STUDY ON SEISMIC DAMAGE TO ROADWAY BRIDGES BY THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Yosuke ISHII, Tatsushi KAJIO and Shojiro KATAOKA

Strong ground motion of JMA seismic intensity 7 was observed twice in Mashiki town during The 2016 Kumamoto Earthquake. The 2016 Kumamoto Earthquake caused damage to many roadway structures and building structures. Earthquake motion caused damage to many roadway bridges in Kumamoto. Now strong ground motion observation networks were established after the 1995 Hyogoken Nanbu Earthquake. Many observatory observe earthquake motion, because observation records is used for examination of damages to structures. The study of relationship between earthquake motion and damages to roadway bridges by the 2016 Kumamoto Earthquake.