

熊本地震橋梁被害調査報告書

平成28年10月

熊本地震橋梁被害調査報告書を発刊するにあたり

2016 年（平成 28 年）4 月 14 日以降に熊本県を中心とする大きな地震が次々に発生して、熊本県と大分県の家屋や土木構造物など様々な構造物に大きな被害を与えました。このたびの震災で不幸にもお亡くなりになられた方々には心よりご冥福をお祈りするとともに、被災された皆様には一日も早い復興を心よりお祈り申し上げます。

日本橋梁建設協会では「5つの誓い」※¹のもと、地震発生直後に災害対策本部を立ち上げ、余震が比較的収束した5月9日から被災調査活動を開始いたしました。約1ヶ月をかけ会員各社から延べ111パーティー、302名を動員し、調査橋梁は延べ478橋となりました。日本橋梁建設協会では、この成果を後世に記録として残し、広く社会で活用していただくことを目的に、報告書としてまとめることにいたしました。

調査対象は、震度5強以上の熊本県・大分県の範囲とし、会員各社が施工した橋梁が対象となっています。したがって、全ての橋梁を網羅しているわけではありません。

また、被災状況の判定評価については統一された基準に基づいて実施していますが、判定者によって個人差があることはご理解下さい。特に5橋がAs（落橋・倒壊・半倒壊）と判定されましたが、実際には落橋防止システムが適切に機能して落橋には至っておりません。As（落橋・倒壊・半倒壊）判定の橋梁については、点検記録を確認するとA（大被害）と判断しても良いと思われる橋梁でしたが、速やかな機能回復ができない被害を受けていたこと、判定者の判断を尊重することとして修正は行わないことにしました。今後も発生のある大震災に向けこのような判定のバラツキを解消する方法も検討したいと考えています。

最後に被災調査から報告書作成まで協力をいただいた、日本橋梁建設協会の会員各社の皆様に対し心より御礼を申し上げます。また、この報告書が社会で広く活用されることを期待いたします。

熊本地震橋梁被害調査報告書作成WG長

本間 順

※ 1 「5つの誓い」とは、日本橋梁建設協会が新生橋建協の行動規範として平成20年に策定。

詳細は、日本橋梁建設協会のホームページを参照願います。

熊本地震橋梁被害調査報告書作成WG委員名簿

	氏 名	会 社 名	所属委員会名
WG長	本間 順	(株)駒井ハルテック	保全委員会
委員	金子 修	三井造船鉄構エンジニアリング(株)	設計部会
委員	中嶋 浩之	(株)巴コーポレーション	設計部会
委員	王 慶雲	日本車輛製造(株)	設計部会
委員	村井 向一	宮地エンジニアリング(株)	保全委員会
委員	稲田 博史	宮地エンジニアリング(株)	保全第一部会
委員	柿沼 努	(株)横河ブリッジ	保全第一部会
委員	田中 寛泰	川田工業(株)	保全第一部会
委員	道下 誠司	(株)名村造船所	保全第二部会
委員	室園 英司	(株)大島造船所	保全第二部会
オブザーバー	高田 嘉秀	川田工業(株)	技術委員会
オブザーバー	栗原 一也	(株)横河ブリッジ	保全委員会

目 次

	Page
1. はじめに	1
2. 熊本地震の特徴	2
3. 調査方法	6
4. 調査結果	10
5. 損傷分布	21
6. 損傷事例	34
7. 落橋防止システムについて	49
8. 熊本地震の教訓	61
9. 今後の地震対策に向けて	65
10. おわりに	68

橋梁被害調査報告

－ 熊本地震における橋梁被害および今後の地震対策に向けて －

一般社団法人日本橋梁建設協会 熊本地震橋梁被害調査報告書作成WG

1. はじめに

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震は、熊本県と大分県の家屋や土木構造物など様々な構造物に大きな被害を与えた。日本橋梁建設協会（以降「橋建協」と称す）は地震発生後速やかに災害対策本部を設置して震災対応を行う準備を行った。橋建協は多くの自治体と災害協定を締結して災害時に調査・点検支援などを行うようにしているが、熊本地震の被災地である熊本県と大分県とは災害協定を締結しておらず、自治体（道路管理者）からの調査・点検支援要請などはなかった。しかし、協会の行動規範である「5つの誓い（「地域の皆さんの安全安心」に寄与する。）」のもと、橋梁施工者という観点で鋼橋の調査・点検を自主的に行うこととした。

地震発生後にも大きな余震が続いていたことや、調査・点検活動が道路管理者による応急復旧作業の妨げになる可能性があることなどを鑑み、調査・点検作業は余震が比較的収まった5月9日から開始した。約1ヶ月の期間をかけて478橋に対して実施した。また、その作業班は橋建協会員会社の人員にて38パーティー（延べ111パーティー、延べ302名）を派遣した。

調査・点検対象の橋梁は、国交省・地方自治体が管理する橋建協会員会社が施工した鋼橋とし、鉄道会社・高速道路会社（NEXCO 西日本）の管理橋梁およびその跨線橋・跨道橋は対象外とした。その理由は、一般道とは異なり調査・点検に際して橋梁管理者の許可が必要と考えられたためである。

今回の調査・点検の主な目的は、鋼橋の被害状況を特に、下記の①～④に着目して考察し、管理者へ報告すること、これまでの設計基準による落橋防止システムの有効性の確認、および新たな知見等の今後の設計・施工への反映を提言することである。

- ①補修、補強等の必要性
- ②供用継続の可否
- ③緊急対応の必要性
- ④通行制限の必要性

なお、4章以降で記述している調査・点検結果は、調査者全員で再確認しているものではないため、以下の要因による若干のバラツキがあることをご了承願いたい。

- ①近接目視ができない等、各橋梁において調査環境が異なること。
- ②調査・点検者の判定能力、主観に差があること。

また、その他にもいくつか改善すべき点があったことから、その内容について9章（「今後の地震対策に向けて」）に記載させていただく。

2. 熊本地震の特徴

2. 1 地震の概要

2016年（平成28年）4月14日21時26分以降に熊本県と大分県で相次いで地震が発生した。気象庁震度階級では最も大きい震度7を観測する地震が4月14日の夜および4月16日の未明に発生したほか、1ヶ月後の5月14日9時までに最大震度6強の地震が2回、6弱の地震が3回発生した。日本国内での震度7の観測事例は4例目（九州地方では初）と5例目であり、一連の地震活動において震度7が2回観測されたのは初めてであった。

名 称： 熊本地震

発 生 日： 【前震】平成28年4月14日 21時26分 【本震】平成28年4月16日 1時25分

震 源 地： 【前震】熊本県熊本地方 【本震】熊本県熊本地方

深 さ： 【前震】11km 【本震】12km

規 模： 【前震】M=6.5 【本震】M=7.3

最大震度： 【前震】7（熊本県益城町宮園） 【本震】7（熊本県益城町宮園、西原村小森）

2. 2 地震の規模

前震の規模は、震源の深さ11kmの気象庁マグニチュード6.5（M6.5）であり、熊本県益城町宮園で震度7を観測した。前震の震度分布を図-2.1に示す。

その28時間後に発生した本震は、震源の深さ12km、マグニチュード7.3（M7.3）の規模で発生し、熊本県益城町宮園と西原村小森で震度7を観測した。本震の震度分布を図-2.2に示す。

マグニチュード7.3（M7.3）は1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）と同じで、九州内陸部の地震としては、この100年で最大規模である。また、内陸型（活断層型）地震において、M6.5以上の地震の後にさらに大きな地震が発生したケースは、日本で地震観測が開始された1885年（明治18年）以降はじめてであり、一連の地震活動において震度7が2回観測されたことも初めてと言われている。

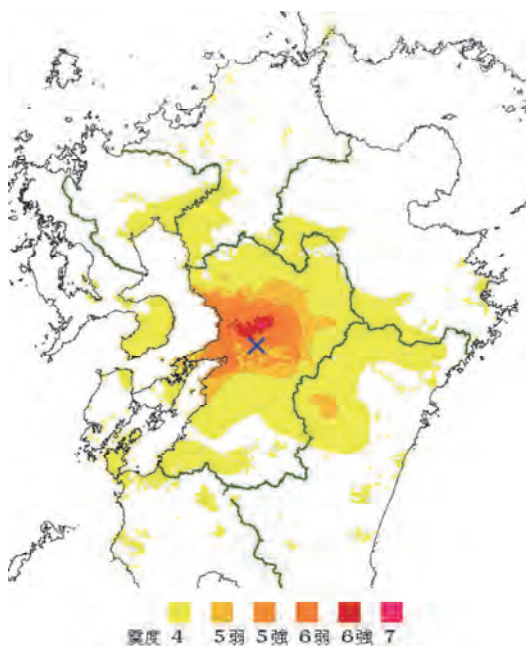


図-2.1 前震の震度分布図¹⁾

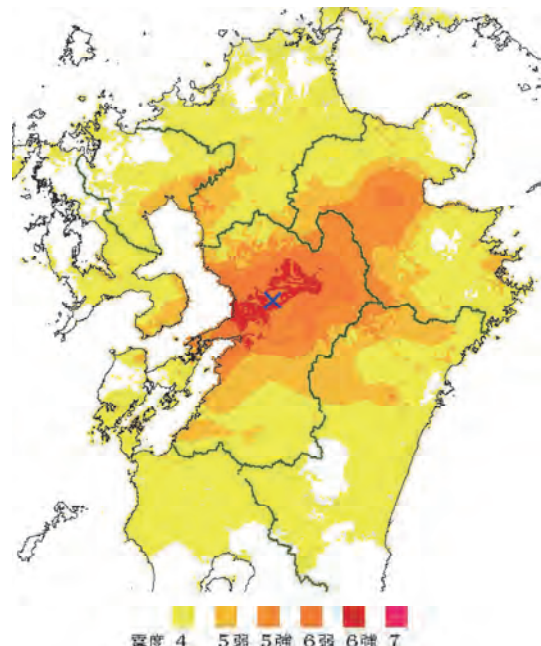
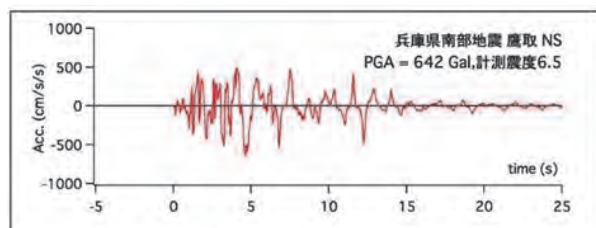


図-2.2 本震の震度分布図¹⁾

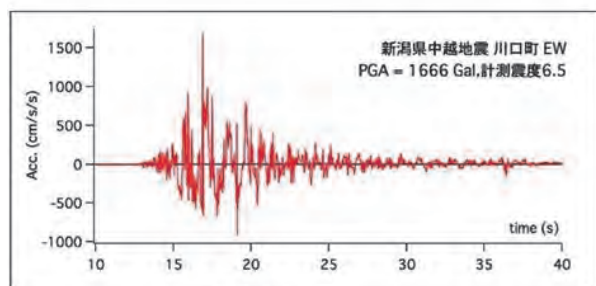
2. 3 地震の強さ

前震による最大加速度は、熊本県内の KiK-net 益城観測点において 1580gal（三成分合成）、本震による最大加速度は、同じく KiK-net 益城観測点において 1362gal（三成分合成）であった。過去の地震を含めた前震および本震の加速度波形を図-2.3 に示す。

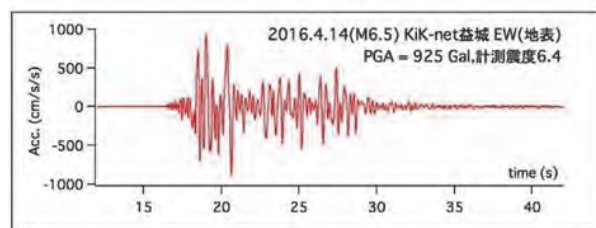
前震と本震の加速度応答スペクトル比較を図-2.4 に示す。前震の加速度応答スペクトルは 0.5 秒前後、本震の加速度応答スペクトルは 0.4 秒前後および 0.9 秒前後の周期が卓越している。構造物に最も被害を与えるとされる周期は 1～2 秒と言われることから、本震の卓越周期がそれに近かったことも、大きな被害が生じた要因の一つと考えられる。また、参考に過去の地震と本震の加速度応答スペクトル比較についても図-2.5 に示す。



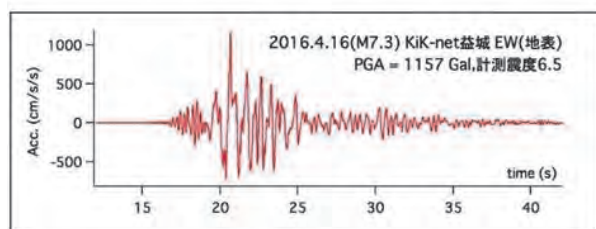
1995.1.17
兵庫県南部地震



2004.10.23
新潟県中越地震



2016.4.14
熊本地震(前震)



2016.4.16
熊本地震(本震)

図-2.3 加速度波形²⁾

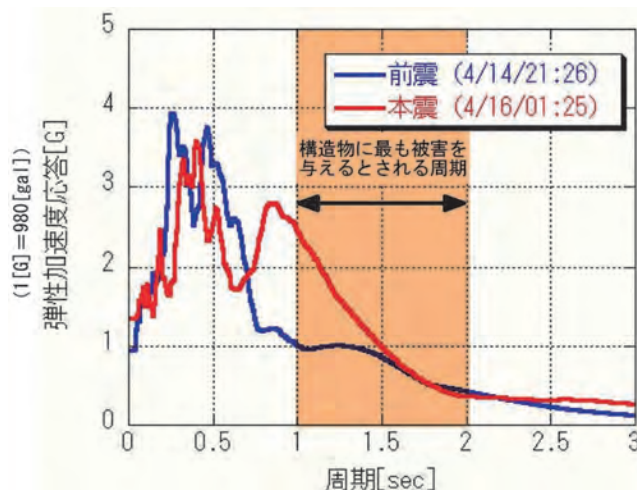
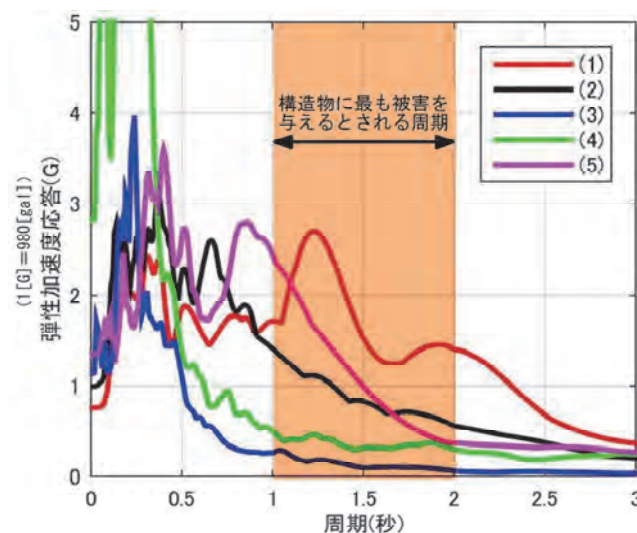


図-2.4 前震と本震の加速度応答
スペクトル比較³⁾



- (1) 1995年阪神・淡路大震災（JR鷹取）
- (2) 2004年新潟県中越地震（小千谷）
- (3) 2003年宮城県沖地震（大船渡）
- (4) 2011年東日本大震災（栗原）
- (5) 2016年熊本地震・本震（益城）

図-2.5 過去の地震と本震の加速度応答³⁾

2. 4 地震の範囲⁴⁾

前震では、熊本県益城町宮園で震度 7、熊本県玉名市天水町、西原村小森、宇城市松橋町、宇城市不知火町、宇城市小川町、宇城市豊野町、熊本東区佐土原、熊本西区春日、熊本南区域城南町、熊本南区富合町で震度 6 弱を観測したが、震度 6 強を観測した地域はなかった。これは、地震動の影響が特定の地域に局所的であったことを示唆している。また、本震では、熊本県益城町宮園、西原村小森で震度 7、熊本県南阿蘇村河陽、菊池市旭志、宇土市浦田町、大津町大津、嘉島町上島、宇城市松橋町、宇城市小川町、宇城市豊野町、合志市竹迫、熊本中央区大江、熊本東区佐土原、熊本西区春日で震度 6 強を観測したことから、前震とは異なり地震動の影響が広範囲であったと言える。

2. 5 地殻変動⁵⁾

図-2.6 に震源と断層帯の位置を示す。

GNSS 観測の結果によると、前震および 4 月 15 日の地震 (M6.4) にて熊本県内の城南観測点が北北東方向に約 20cm 移動、また本震においても熊本県内の長陽観測点が南西方向に約 98cm 移動するなどの地殻変動が観測されている。

陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」が観測した合成開口レーダー画像の解析結果によると、熊本県熊本地方から阿蘇地方にかけて地殻変動の面的な広がりが見られ、布田川（ふたがわ）断層帯の布田川区間沿いおよび日奈久（ひなぐ）断層帯の高野一白旗区間沿いに大きな変動がみられる。これらの地殻変動から、すべりを生じた震源断層の長さは約 35km であると推定される。

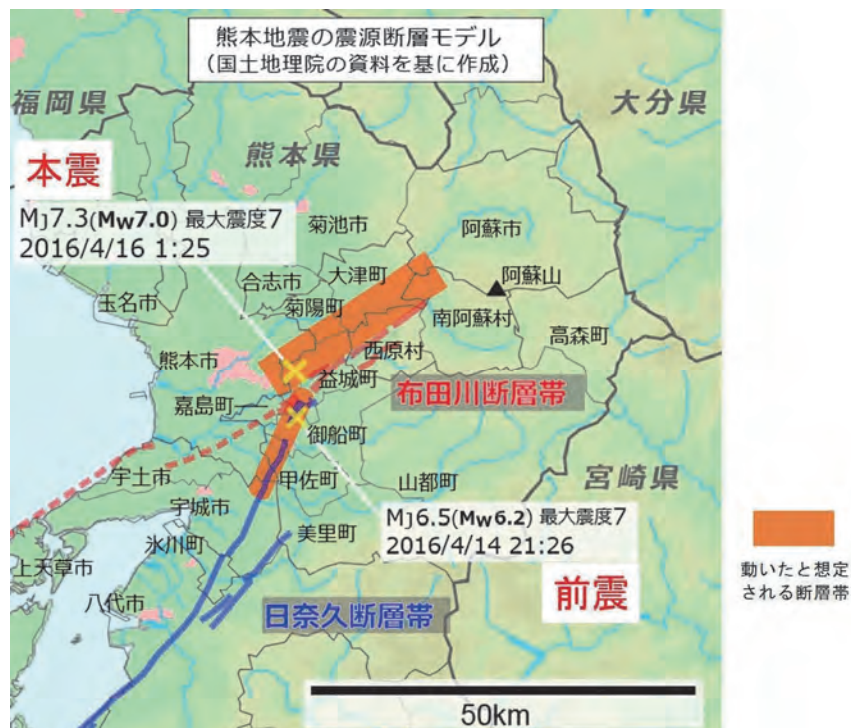


図-2.6 震源と断層帯

2. 6 その他の特徴

本震以降に余震が長く続いたことが特徴の一つと言われている。表-2.1 に最大震度 5 以上を観測した地震の概要を、表-2.2 に震度 1 以上の最大震度別地震回数を示す (14 日 21 時～20 日 24 時)。震源が浅いために有感地震が非常に多く、14 日 21 時以降から 20 日 24 時まで最大震度 5 弱以上の地震

が 17 回、震度 1 以上の地震が 726 回発生している。

また、地震によって多くの土砂災害が発生している。九州 6 県における土砂災害は、国土交通省が 5 月 16 日までに確認したもので 125 件に達しており、そのうち 94 件は熊本県であった。その他にも、大規模な斜面崩壊や土石流、地滑りが発生しており、被害の多くは南阿蘇村付近に集中している。

表-2.1 最大震度 5 弱以上を観測した地震（14 日 21 時～20 日 24 時）¹⁾

地震発生時刻	震央地名	震源の深さ	マグニチュード	最大震度
4月14日 21時26分	熊本県熊本地方	11km	6.5	7（益城町）
4月14日 22時07分	熊本県熊本地方	8km	5.8	6弱（益城町）
4月14日 22時38分	熊本県熊本地方	10km	5.0	5弱（宇城市）
4月15日 0時03分	熊本県熊本地方	7km	6.4	6強（宇城市）
4月15日 1時53分	熊本県熊本地方	10km	4.8	5弱（山都町）
4月16日 1時25分	熊本県熊本地方	12km	7.3	7（益城町他）
4月16日 1時44分	熊本県熊本地方	10km	5.3	5弱（玉名市他）
4月16日 1時46分	熊本県熊本地方	20km	6.0	6弱（菊陽町他）
4月16日 3時03分	熊本県阿蘇地方	20km	5.8	5強（阿蘇市他）
4月16日 3時55分	熊本県阿蘇地方	10km	5.8	6強（産山村）
4月16日 9時48分	熊本県熊本地方	10km	5.4	6弱（菊池市）
4月16日 7時14分	大分県中部地方	10km	5.3	5弱（由布市）
4月16日 7時23分	熊本県熊本地方	10km	4.8	5弱（熊本東区）
4月16日 16時02分	熊本県熊本地方	ごく浅い	5.3	5弱（嘉島町他）
4月18日 20時42分	熊本県阿蘇地方	10km	5.8	5強（産山村）
4月19日 17時52分	熊本県熊本地方	10km	5.5	5強（八代市）
4月19日 20時50分	熊本県熊本地方	10km	4.9	5弱（八代市他）

表-2.2 震度 1 以上の最大震度別地震回数（14 日 21 時～20 日 24 時）¹⁾

日時	最大震度別回数										震度1以上を 観測した回数	
	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7		回数	累計
4/14 21時～24時	12	10	6	9	1	0	1	0	1		40	40
4/15 00時～24時	30	51	19	10	1	0	0	1	0		112	152
4/16 00時～24時	20	70	67	36	4	1	2	1	1		202	354
4/17 00時～24時	29	70	28	11	0	0	0	0	0		138	492
4/18 00時～24時	19	33	22	4	0	1	0	0	0		79	571
4/19 00時～24時	24	33	20	2	1	1	0	0	0		81	652
4/20 00時～24時	18	40	15	1	0	0	0	0	0		74	726

〈参考文献〉

- 1) 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- 2) 東北大学災害科学国際研究所 2016 年熊本地震の強震記録 2016. 4. 16
- 3) 日経アーキテクチュアホームページ (<http://na.nikkeibp.co.jp/>)
- 4) 国土交通省 熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 28 報）2016. 5. 2
- 5) 地震調査研究推進本部 平成 28 年（2016 年）熊本地震の評価 2016. 5. 13

3. 調査方法

3. 1 橋建協の対応

地震発生以降の橋建協の被害調査と調査報告などの対応は表-3.1 の通りである。

表-3.1 熊本地震における橋建協の対応

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	備考
前震発生(震度7)	●									4/14 (21:26)
本震発生(震度7)	●									4/16 (01:25)
熊本地震 災害対策本部設置 現地連絡本部設置	●									4/16
本部より調査点検出動指示		●								5/9 道路管理者から要請無く自主調査
各社調査		■								5/11～6/5
調査データ集計・分析			■	■	■					6/5～8/8
関係自治体への報告					■					8月中旬 九地整、熊本県、大分県
分析結果取り纏め				■	■	■	■			7/1～10/10
技術発表会で報告							■	■		東京(10/14)、大阪(10/21)、 中部(10/28)、北海道(11/2)、 東北(11/11)、九州(11/18)
Ⅲ調査・点検要領の見直し							■	■	■	10/10～

3. 2 調査・点検の範囲

今回の地震では、道路管理者から橋建協への調査要請はなかったため、橋梁建設の施工者の観点から自主調査とし、橋建協の「災害時即応体制ガイドライン」に基づいて実施した。これによると調査範囲は震度6弱以上の観測地域であるが、今回は余震の多さによる被災影響を考慮し、震度5強以上を複数回観測した地域に拡大した。

対象橋梁は、この震度5強以上の熊本県・大分県の地域で橋建協加盟会社が施工したものとその近辺に架かる鋼橋を対象としたが、鉄道会社や高速道路会社(NEXCO 西日本)の橋梁とその跨道橋については、一般道と異なり調査に許可が必要と考えられることや応急復旧業務への妨げになるなどのことから除外することとした。

図-3 に示すように被災地域を32ブロックに分け、協会各社で分担し、調査要員のべ302名(のべ111パーティー)によって、調査期間約1カ月間で調査を行った。図中の01～32はブロック管理番号を示している。

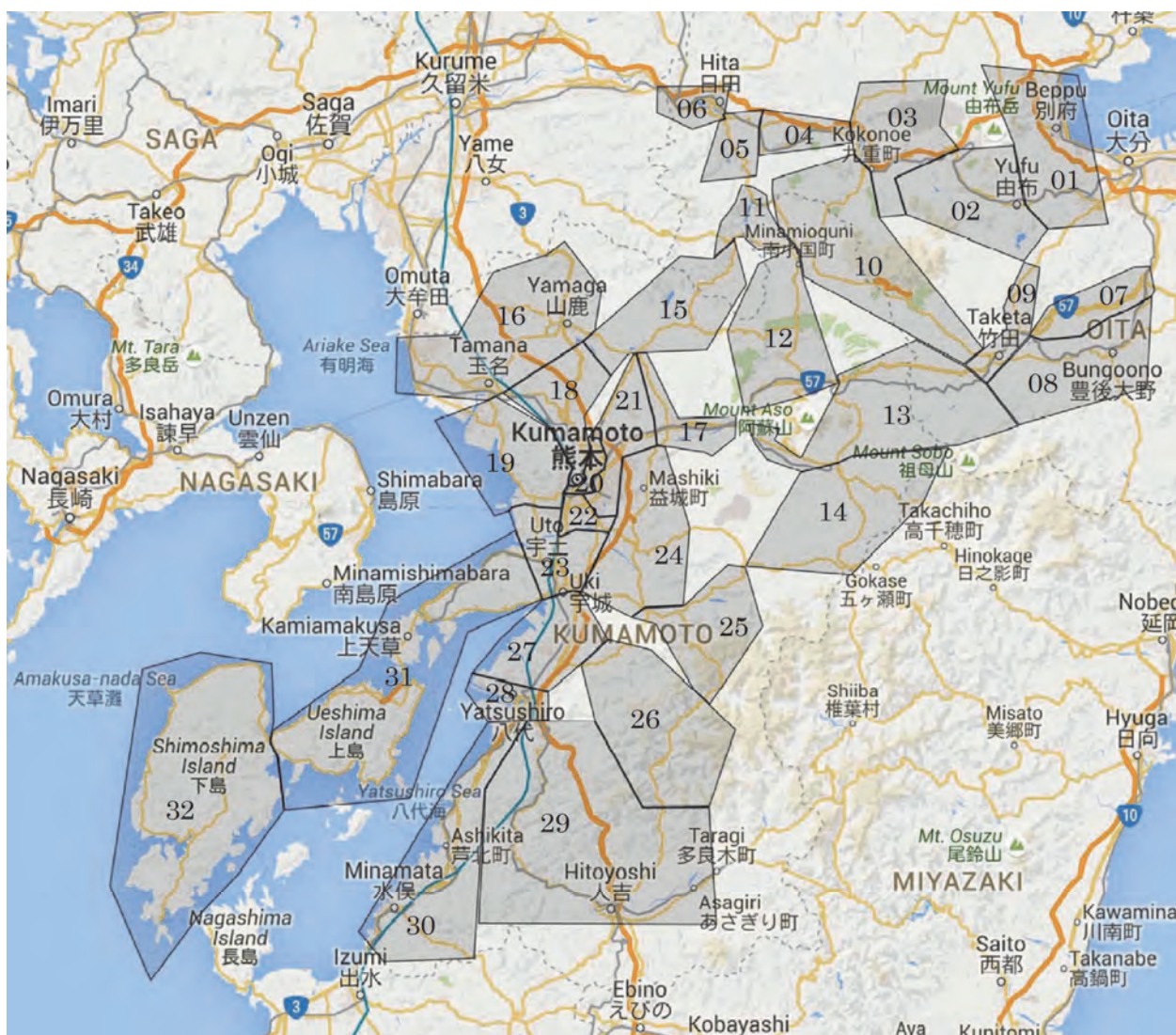


図-3 調査対象範囲（グーグルマップに加筆）

3. 3 調査・点検方法

調査・点検方法は平成 27 年 7 月に橋建協で作成した「Ⅲ 調査・点検要領」に修正を加えた平成 28 年 4 月版を用いた。

地震による損傷については、損傷の判定を走行性と耐荷性の観点からそれぞれ a～c の 3 段階と As～D の 5 段階区分とし、経年劣化により補修が必要な橋梁も多いため、経年劣化についても M、S、N の 3 段階区分で調査を行った。更に橋梁の損傷発生部位ごとの調査と落橋防止システムの有効性の確認も合わせて行っている。

表-3.2(a)および(b)に調査集計の記入例、表-3.3 に耐荷性判定方法を示す。また表-3.4 に As～C の判定例と、表-3.5 に耐荷力と走行性による通行規制判定例について示した。

表-3.2 調査集計(記入例)

(a) 損傷発生部位調査表(記入例)

整理 番号	橋 梁 名	走 行 性	耐 荷 性	経 年 劣 化	損傷発生部位								
					基礎	橋台	橋脚	主構造 (上部工)	支承部	落橋防止 装置	路面	床版 下部	伸縮装 置
1	A橋	c	D	N		×			×				
2	B橋	c	D	M		×		△	△			△	
3	C橋	a	A	N		×		×	×	×		×	×
4	D橋	b	B	N					×				×

損傷発生部位の記号：×は地震による損傷、△は経年劣化による損傷を示す。

(b) 落橋防止システム調査表(記入例)

整理番号	落橋防止システム						備考
	耐震基準 新旧	支承サイド ブロック	変位制限 構造	ダンパー	落橋防止 装置	その他	
1	新	○	○	—	○	—	
2	新	○	—	—	○	—	
3	—	—	—	—	—	—	橋台にクラック
4	新	×	—		△	—	床版にクラック
5	新	○	—	○	—	—	

記号：○は健全、△は健全（作用痕）、×は損傷、—は確認できず対象物無しを示す。

表-3.3 耐荷性判定方法¹⁾

判定区分			判定内容	被災度
(1) 走行性 (地震被害)	a	通行不可	走行できない場合	↑
	b	通行注意	異常は認められるが、走行できる場合	
	c	被害なし	走行性に対してとくに異常が認められない場合	
(2) 耐荷性 (地震被害)	As	落橋	落橋あるいは倒壊・半倒壊した場合	↑
	A	大被害	耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合	
	B	中被害	耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震、活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合	
	C	小被害	短期間には耐荷力の低下に影響のない場合	
	D	被害なし	耐荷力に関してはとくに異常が認められない場合 (損傷がないか、あっても耐荷力に影響のないきわめて軽微なもの)	
(3) 経年劣化	M	要修繕	経年劣化に対して修繕計画に基づき対処する必要がある	—
	S	要調査	緊急点検では判定できないが、異常を有する可能性があるため、早急に詳細調査を行う必要がある	
	N	損傷なし	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない	

表-3.4 耐荷性の判定区分 As～C における判定例¹⁾

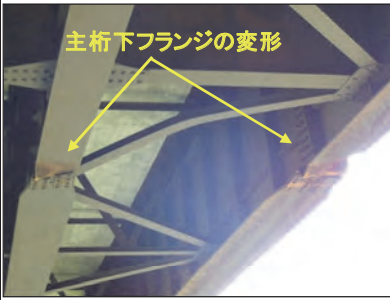
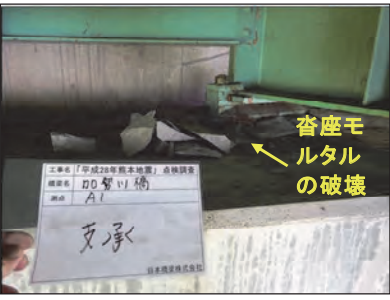
判定区分	As・A	B	C
	大被害	中被害	小被害
	倒壊や半壊を含め耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合	耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震、活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合	短期間には耐荷力の低下に影響のない場合
上部構造			
	写真は、主桁下フランジが大きく変形し耐荷力の低下に著しく影響を与えるもの	写真は、支点部垂直材が変形し耐荷力低下に影響があるが、当面の利用が可能と考えられるもの	写真は、横構が変形したが、耐荷力低下に影響がないと考えられるもの
支承部			
	写真は、ピン支承のピンが破断し余震などで致命的な被害の可能性があるもの	写真は、沓座モルタルが破壊しているが、当面の利用が可能と考えられるもの	写真は、沓座モルタルに亀裂が生じているが、耐荷力低下に影響がないと考えられるもの

表-3.5 耐荷力と走行性による通行規制判定例¹⁾

		耐荷力に関する被災度判定区分			
		A: 大被害	B: 中被害	C: 小被害	D: 被害なし
走行性判定区分	a: 不可	通行止め	通行止め	通行止め	通行止め
	b: 注意	通行止め	通行規制	通行規制	通行規制
	c: 可能	通行止め	通行規制	必要なし	必要なし

青(— — —) : 耐荷力被災判定による処置

緑(- - - -) : 走行性判定による処置

赤(———) : 両者による処置

〈参考文献〉

- 1) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編) を参考としている

4. 調査結果

4. 1 調査結果の概要

調査橋梁数を表-4.1に示す。調査橋梁は合計で478橋であった。調査橋梁の管理者別の内訳では九州地方整備局の橋梁が198橋と最も多く、次いで地方自治体の熊本県の175橋、大分県の57橋が多い。

表-4.1 調査橋梁一覧

管 理 者	調査橋梁数
九州地方整備局	198
地方自治体(熊本県)	175
地方自治体(大分県)	57
公団(緑資源水資源等)	23
その他(不明)	25
合 計	478

なお、本調査は、会員会社の自主調査であり、被害にあった橋梁のすべてを調査したものではない。また、被害にあった橋梁においてもすべての部位を調査したものでなく、調査可能な部位を点検したもので、報告書の内容以外にも損傷のある可能性がある。

損傷発生部位は表-4.2に示す部位を含んだ内容となっている。なお、今回は上部工を主体とした調査・点検であり、下部工については調査が容易に実施できる場合に上部工と合わせて調査している。

表-4.2 調査部位

分 類	損傷発生部位
主 構 造	主構造、2次部材
支 承 部	支承本体、取付け部
落橋防止	落橋防止システムの各構成部材
路 面	橋梁上、橋台背面
床版下部	床版下面、下面に設置される排水等の付属物
伸縮装置	路面上、伸縮装置の下部
橋台、橋脚、基礎	(確認できる範囲で実施)

4. 2 損傷の発生状況

(1) 地震による損傷の発生割合

図-4.1 に全調査橋梁に対する地震による損傷を生じた橋梁数の割合、すなわち損傷の発生割合を示す。損傷橋梁数は 83 橋で約 17%の発生割合となる。損傷発生部位を「上部工」に限定すると損傷橋梁数は 56 橋であり発生割合は 12%、「支承部」に限定すると 36 橋であり発生割合は 8%である。

区 分	損傷発生部位の対象範囲					
	橋梁全体		上部工 (下部工と路面除く)		支承部	
	橋梁数	割合%	橋梁数	割合%	橋梁数	割合%
地震損傷あり	83	17	56	12	36	8
地震損傷なし	395	83	422	88	442	92
橋梁数	478					

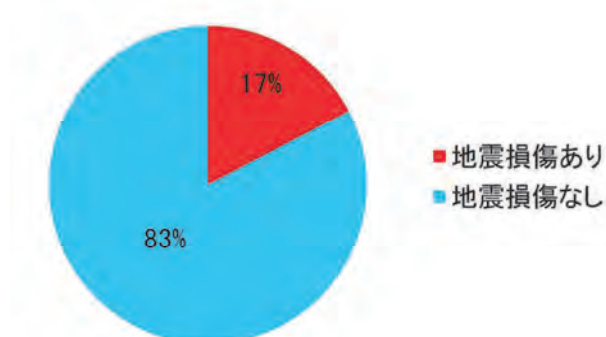


図-4.1 地震による損傷の発生割合

以降の損傷に関する分析については、損傷の発生している 83 橋を主な対象として分析を行うものとする。

(2) 走行安定性の判定割合

図-4.2 に走行安定性の判定割合を示す。全調査橋梁 478 橋の内、地震による損傷橋梁 83 橋を対象とした場合には、通行不可 a が 8 橋で損傷橋梁の 10%、通行注意 b が 26 橋で 31%と規制を伴う損傷が全体の 4 割を占めている。

区 分	地震による損傷橋梁	
	橋梁数	割合%
a (通行不可)	8	10
b (通行注意)	26	31
c (被害なし)	49	59
不明	0	0
橋梁数	83	

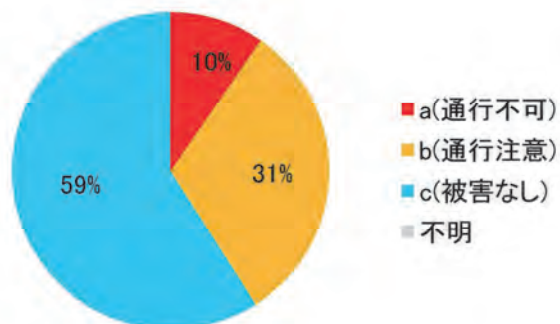


図-4.2 走行安定性の判定割合

（３）耐荷性の判定割合

図-4.3 に耐荷性の判定割合を示す。地震による損傷橋梁 83 橋のうち、D 判定（被害なし※）が 43 橋で損傷橋梁の 51.8%、それ以外の As～C 判定（落橋、大・中・小被害）が合計 40 橋で損傷橋梁の 48.2% となり、約半々であった。被害の著しい As「落橋」と A「大被害」の合計は 11 橋で損傷橋梁の 13.2% となった。As（落橋、倒壊、半倒壊）と診断された橋梁が 5 橋あったが、実際には落橋防止システムが適切に機能し、落橋には至っていない。As の判定橋梁は速やかな機能回復ができなかったこと、また、点検者の判断を尊重し、そのほかの区分と一緒に判定区分の変更は行っていない。

区 分	地震による損傷橋梁	
	橋梁数	割合%
As（落橋）	5	6
A（大被害）	6	7
B（中被害）	11	13
C（小被害）	18	22
D（※被害なし）	43	52
橋梁数	83	

※耐荷力に関してはとくに異常が認められない場合
（損傷がないか、あっても耐荷力に影響のないきわめて軽微なもの）

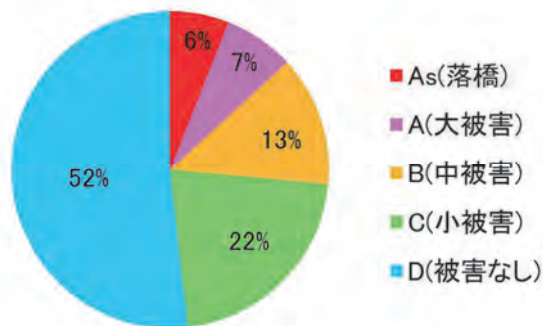


図-4.3 耐荷性の判定割合

（４）部位別の損傷発生割合

全調査橋梁 478 橋の内、地震による損傷橋梁 83 橋を対象とする場合の部位別の損傷発生割合を図-4.4 に示す。部位は表-4.2 に示す分類で発生割合を示している。

橋梁全体の部位を対象とした場合には、「橋台」が 40%、「支承部」が 43%、「路面」が 39% で損傷割合が高い。東日本大震災ではそれぞれ 28%、36%、60% であった。東日本大震災時、「路面」の損傷割合が高いのは橋梁上の路面の損傷ではなく、橋台背面の路面沈下が多く発生したためと推測されるが、今回の調査においては、これら路面沈下の多くは「橋台」に分類されると推測される。

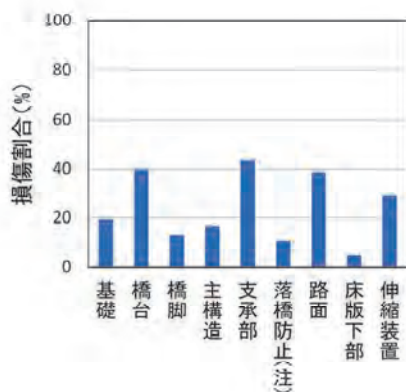
また、耐荷性判定の As と A と判定される橋梁に限定すると、「基礎」、「橋脚」と「床版下部」の損傷率は 30% 以下となったが、その他部位は 50% 以上、特に「伸縮装置」が 82%、「支承部」が 100% で損傷割合が特に高い。

さらに、上部工のみの部位を対象とした場合には、「支承部」が 64%、「伸縮装置」が 43% で損傷割合が高い、東日本大震災時（それぞれ 65%、47%）と同様に、一般に地震時の損傷が多いとされる支承

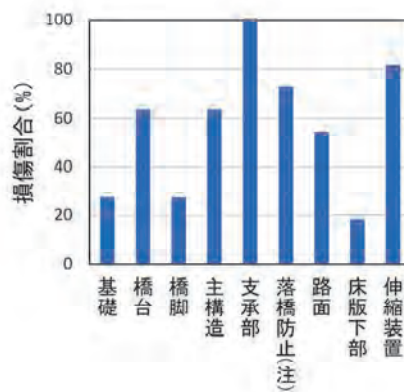
部や伸縮装置の損傷割合が高くなった。一方、作用痕があるが落橋防止システムとしては健全な状態の橋梁を除いた「落橋防止」が16%で損傷割合は低い。東日本大震災時（15%）と同様に、これは平成8年道路橋示方書の発刊以前の耐震設計では、桁かかり長か落橋防止装置のいずれか一つが設置されていたため落橋防止装置を設置した橋梁が限られていたことや、落橋防止装置が支承の損傷後に機能する部材であるため、損傷割合が低くなったものと推定される。

地震による 損傷数	損傷発生部位の対象範囲					
	橋梁全体		耐荷性As、A判定橋梁		上部工 (下部工と路面除く)	
	83		11		56	
部 位	橋梁数	割合%	橋梁数	割合%	橋梁数	割合%
基 礎	16	19	3	27	—	—
橋 台	33	40	7	64	—	—
橋 脚	11	13	3	27	—	—
主構造	14	17	7	64	14	25
支承部	36	43	11	100	36	64
落橋防止(注)	9	11	8	73	9	16
路 面	32	39	6	55	—	—
床版下部	4	5	2	18	4	7
伸縮装置	24	29	9	82	24	43

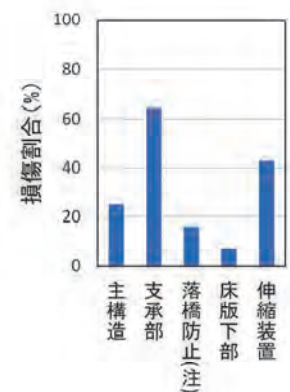
注：作用痕があるが、落橋防止システムとしては健全な状態の橋梁を除いた



(a) 橋梁全体対象



(b) 耐荷性 As、A 判定橋梁



(c) 上部工対象

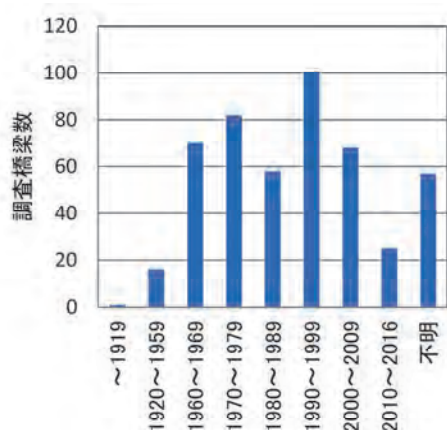
図-4.4 部位別の損傷割合

(5) 橋梁竣工年と損傷割合の関係

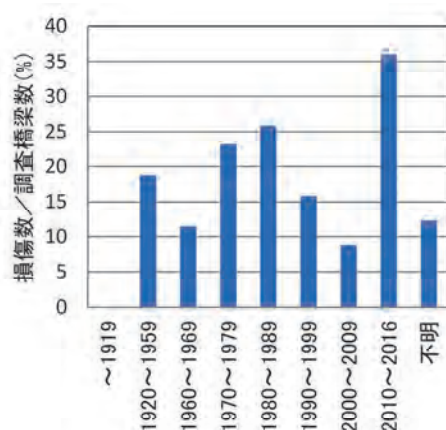
図-4.5 に竣工年と損傷割合の関係を示す。図-4.5 (a) に示すように、竣工年別の調査橋梁数は不明なものを除けば1990年代が最も多く、次いで1970年代、1960年代の順で多く、この30年間に建設された橋梁が全調査橋梁数の約50%を占めている。図-4.5 (b) に示す橋梁全体の部位を対象とした損傷の発生割合からは、2010年代の損傷の発生割合が36%と他の年代と比較して最も多い事が分かる。図-4.5 (c) に示す下部工と路面を除き、「主構造」、「支承部」、「床版下部」、「伸縮装置」に着目した「上部工」対象の損傷割合は損傷があった橋83橋のうち67%（56/83橋）を占め、橋梁全体の損傷割合と似た

傾向を示していることから、地震による損傷は上部工に集中して発生していることが分かる。図-4.5 (d) に示す支承部のみを対象とした損傷割合は、いずれの年代においても0～15%程度であることから、2010年代の橋梁の損傷は支承部以外の部位に発生していることが推察される。

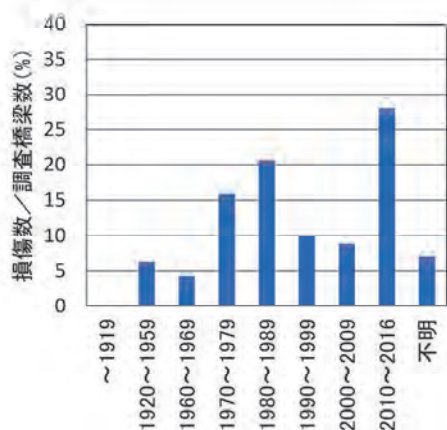
竣工年	調査 橋梁数	損傷発生部位の対象範囲					
		橋梁全体		上部工 (下部工と路面除く)		支承部	
		橋梁数	割合%	橋梁数	割合%	橋梁数	割合%
～1919	1	0	0	0	0	0	0
1920～1959	16	3	19	1	6	1	6
1960～1969	70	8	11	3	4	1	1
1970～1979	82	19	23	13	16	10	12
1980～1989	58	15	26	12	21	8	14
1990～1999	101	16	16	10	10	7	7
2000～2009	68	6	9	6	9	5	7
2010～2016	25	9	36	7	28	3	12
不明	57	7	12	4	7	1	2
橋梁数	478	83	17	56	12	36	8



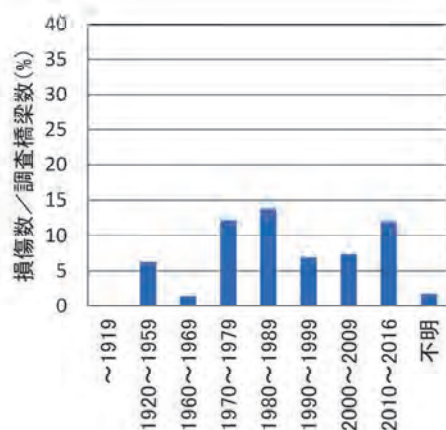
(a) 調査橋梁数



(b) 橋梁全体対象の損傷割合



(c) 上部工対象の損傷割合



(d) 支承部対象の損傷割合

図-4.5 竣工年別の損傷割合

(6) 橋梁形式と損傷割合の関係

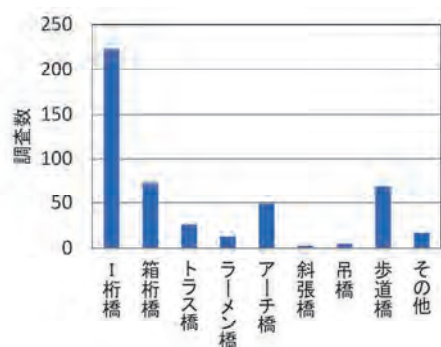
図-4.6 に橋梁形式別の損傷割合の関係を示す。東日本大震災の橋梁被害調査報告書¹⁾では、桁橋を単純桁と連続桁の支持形式で分類したが、今回の調査では、I 桁橋が 223 橋と調査橋梁の約半数を占めていることから、桁橋を I 桁橋と箱桁橋の構造形式で分類した。

橋梁全体の部位を対象とした場合には、I 桁橋、斜張橋、吊橋および歩道橋が 20%を越える結果となった。損傷割合が 30%を越える斜張橋は、調査橋梁が 3 橋で、その内の 1 橋が震度 7 を記録した西原村に位置する桑鶴大橋であったことによる。

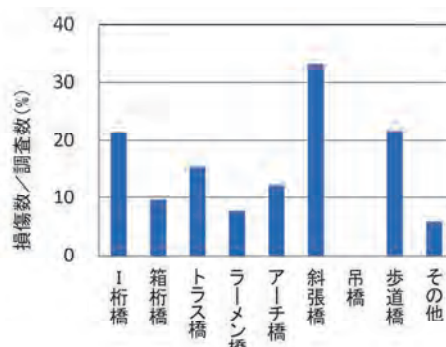
損傷橋梁 83 橋の内、I 桁橋 48 橋、箱桁橋 7 橋で桁橋が全体の約 7 割を占めている。上部工の損傷は I 桁橋で 36 橋、その割合は 75% (36/48)、箱桁橋は 5 橋でその割合は 71% (5/7) とほぼ同程度であるが、支承部の損傷は、I 桁橋 28 橋、その割合は 58% (28/48) で、箱桁橋は 2 橋で 29% (2/7) と比べて高い傾向にある。

また、東日本大震災の橋梁被害調査報告書と同様に桁橋を単純桁と連続桁の支持形式で分類した場合 (e)、東日本大震災時と同様に、連続桁橋よりも単純桁橋の損傷割合が低い傾向が見られる。

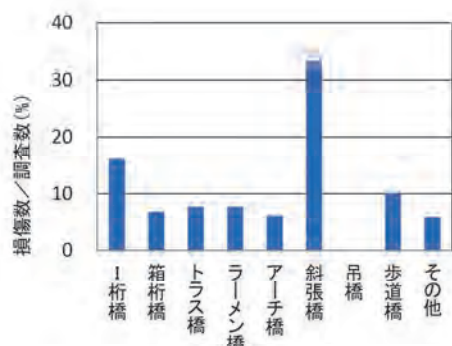
橋梁形式	橋梁調査数	損傷発生部位の対象範囲					
		橋梁全体		上部工 (下部工と路面除く)		支承部	
		橋梁数	割合%	橋梁数	割合%	橋梁数	割合%
I桁橋	223	48	22	36	16	28	13
箱桁橋	73	7	10	5	7	2	3
トラス橋	26	4	15	2	8	2	8
ラーメン橋	13	1	8	1	8	1	8
アーチ橋	49	6	12	3	6	2	4
斜張橋	3	1	33	1	33	1	33
吊橋	5	0	0	0	0	0	0
歩道橋	69	15	22	7	10	0	0
その他	17	1	6	1	6	0	0
橋梁数	478	83	17	56	12	36	8



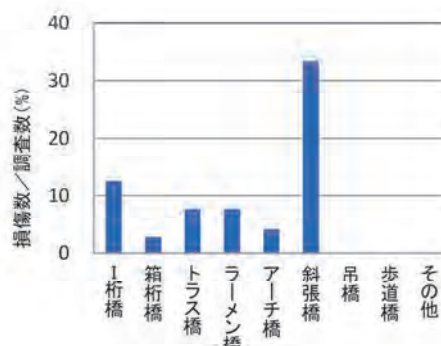
(a) 調査橋梁数



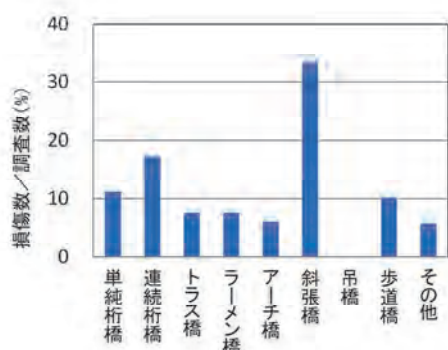
(b) 橋梁全体対象の損傷割合



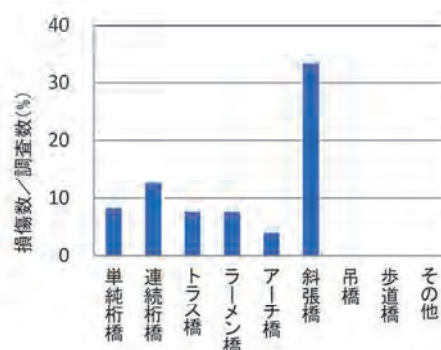
(c) 上部工対象の損傷割合



(d) 支承部対象の損傷割合



(e) 上部工対象の損傷割合



(f) 支承部対象の損傷割合

図-4.6 橋梁形式別の損傷割合

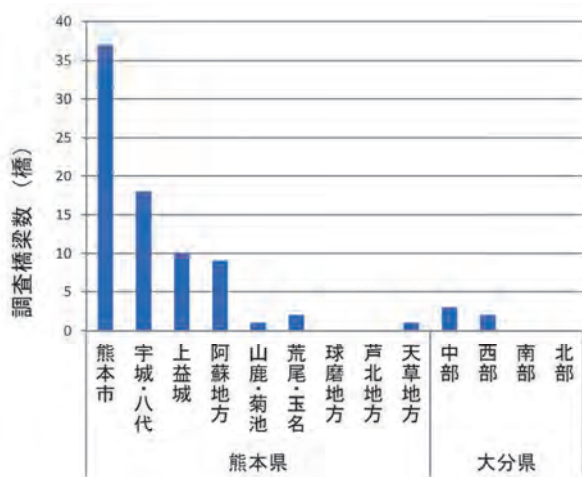
（７）橋梁所在地と損傷割合の関係

図-4.7 に橋梁所在地と損傷割合の関係を示す。地震により損傷を受けた橋梁 83 橋のうち、熊本県の橋梁が 78 橋、大分県内の橋梁が 5 橋である。橋梁の所在地は熊本県内で 19 の市区町村、大分県で 3 の市町村に分布していたため、図-4.8 の着色した地域に分けて集計した。

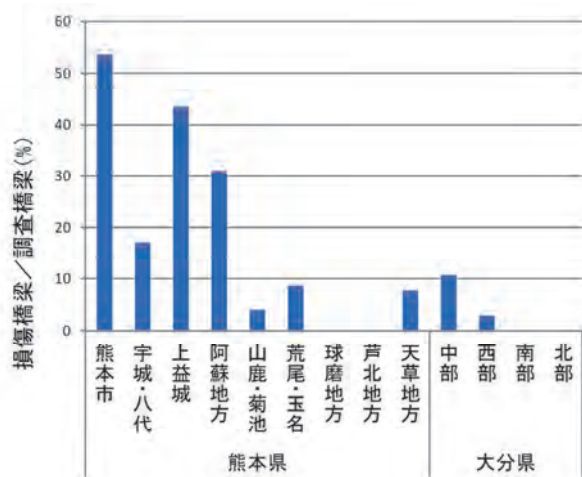
地震により何らかの損傷を受けた橋梁は、今回の地震で震源となった布田川・日奈久断層に沿った熊本地方の熊本市、宇城・八代、上益城および阿蘇地方に多く分布している。

損傷割合は、橋梁全体と上部工（主構造、支承部、落橋防止システム、床版、伸縮装置）および支承部を対象とした場合を示しているが、共に熊本地方の熊本市、上益城および阿蘇地方が高い損傷割合であった。特に熊本市では調査橋梁のうち、地震により損傷を受けた橋梁が約 54% と高い割合であった。

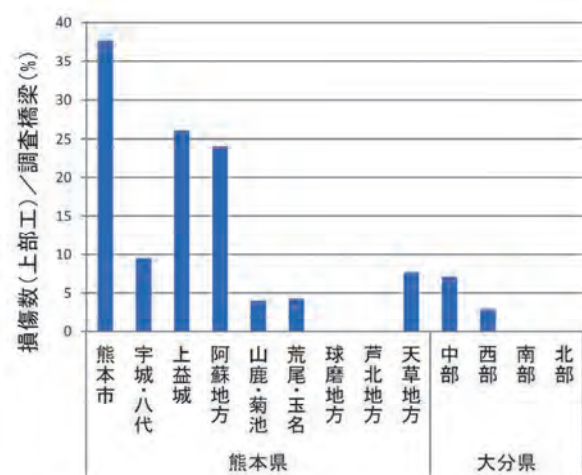
所在地		調査橋梁	地震により損傷を受けた橋梁						最大震度
			橋梁全体		上部工		支承部		
			橋梁数	割合 %	橋梁数	割合 %	橋梁数	割合 %	
熊本県	熊本市	69	37	54	26	38	13	19	6強
	宇城・八代	105	18	17	10	10	5	5	6強
	上益城	23	10	44	6	26	6	26	7
	阿蘇地方	29	9	31	7	24	6	21	6強
	山鹿・菊池	25	1	4	1	4	1	4	6強
	荒尾・玉名	23	2	9	1	4	1	4	6弱
	球磨地方	31	0	0	0	0	0	0	5弱
	芦北地方	16	0	0	0	0	0	0	5強
	天草地方	13	1	8	1	8	1	8	6弱
大分県	中部	28	3	11	2	7	2	7	6弱
	西部	70	2	3	2	3	1	1	5強
	南部	46	0	0	0	0	0	0	5強
	北部	0	0	0	0	0	0	0	4
合計		478	83		56		36		



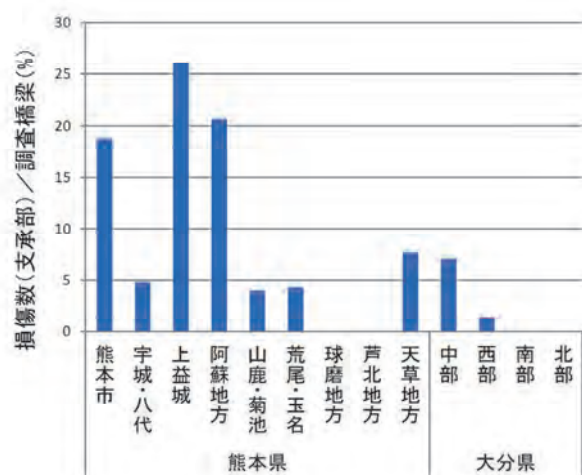
(a) 損傷を受けた橋梁数



(b) 損傷を受けた橋梁の割合



(c) 上部工対象の損傷割合



(d) 支承部対象の損傷割合

図-4.7 橋梁所在地別の損傷橋梁数と割合

〈参考文献〉

- 1) (一社)日本橋梁建設協会 東日本大震災橋梁被害調査報告書 2011.12
- 2) 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)

5. 損傷分布

5. 1 損傷分布図

(1) 震度分布との関係

調査を実施した橋梁の位置と、地震による損傷の度合いとの関係を確認するため、損傷状況に応じた分布図を作成した。損傷分布図は、一連の地震活動で最も規模が大きい4月16日の本震に着目し、熊本県と震度6弱を観測した大分県を対象に、調査した橋梁を表-3.3の耐荷性の判定区分に応じて色分けして、まずは図-5.1の気象庁による本震時の震度分布図¹⁾上にプロットした(図-5.2~図-5.6)。なお、今回の地震は、布田川断層帯と日奈久断層帯の活動によるものと推測されるため、分布図上にはこれらの断層帯も加筆した。この損傷分布図上にプロットした橋梁は、調査した全478橋を対象としており、耐荷性の判定区分による色分けは、区分Asは青色、Aは水色、Bは緑色、Cは薄緑色、Dは黄色、地震による損傷が認められなかった橋梁は白色としている。

図-5.2は全478橋をプロットしたものであり、図-5.3はこの478橋のうち、図-4.1のとおり地震による損傷が認められた83橋について、判定区分に関係なく区分As~Dの全てをプロットしたものである。この図から、地震による被害を受けた橋梁は、震源付近や震度7、6強の範囲、および布田川・日奈久断層帯の付近に集中していることがわかる。なお、大分県では、当協会での調査対象外である大分自動車道の一部の橋梁で、主桁の変形や支承の破壊等の被害が生じたが²⁾、今回の調査対象とした橋梁では、最大でも判定区分Cが2橋存在する程度の結果となった。また、図-5.4は白色の、地震による損傷が認められなかった橋梁のみをプロットしたものであり、震度7、6強の範囲や断層付近の地域にあっても、多くの橋梁が被害を受けなかったことも明確になった。

地震により損傷した橋梁の分布を更に細分化するため、図-5.5には判定区分B~Dを、図-5.6には判定区分As~Aをプロットした。この結果、特に損傷度合いの大きい判定区分As~Aの橋梁は、熊本県の中央付近から北東方向に伸びる布田川断層帯に沿って分布していることがわかる。これについては、5.2で考察する。なお、海岸線付近に判定区分Asが1橋存在するが、この橋梁は中間橋脚が2m以上沈下し、トラス桁の座屈や変形等の損傷が生じたものである。

(2) 最大加速度および地動変位との関係

次に、地震による橋梁の損傷の度合いと、地震時の地表の動きとの関係を確認するため、東京大学地震研究所³⁾による本震での最大加速度(PGA)図と地動変位(PGD)図上にプロットしたものを、それぞれ図-5.7、図-5.8に示す。なお、プロットしたのは判定区分As~Bの橋梁である。

今回の地震は震源の深さが約12kmと浅いため、図-5.7のとおり震源(図中の星印)の直上付近には強い加速度が現れており、その範囲はほぼ震度分布図と同様の傾向にあることがわかる。また、図-5.8のとおり、地面の変位も同様に震源(図中の星印)の直上付近で最大で50cmの大きな地動変位が生じており、この地動変位は、震源を中心に関東地方や信越地方にまで広がりを見せている。

これらの図中にプロットした、損傷度合いが中~大きいと判定された区分As~Bの全ての橋梁は、濃赤色で記された加速度および地動変位が大きく発生した範囲に分布されており、橋梁の損傷の度合いと地表の変動の大きさととの相関関係がうかがえる。

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

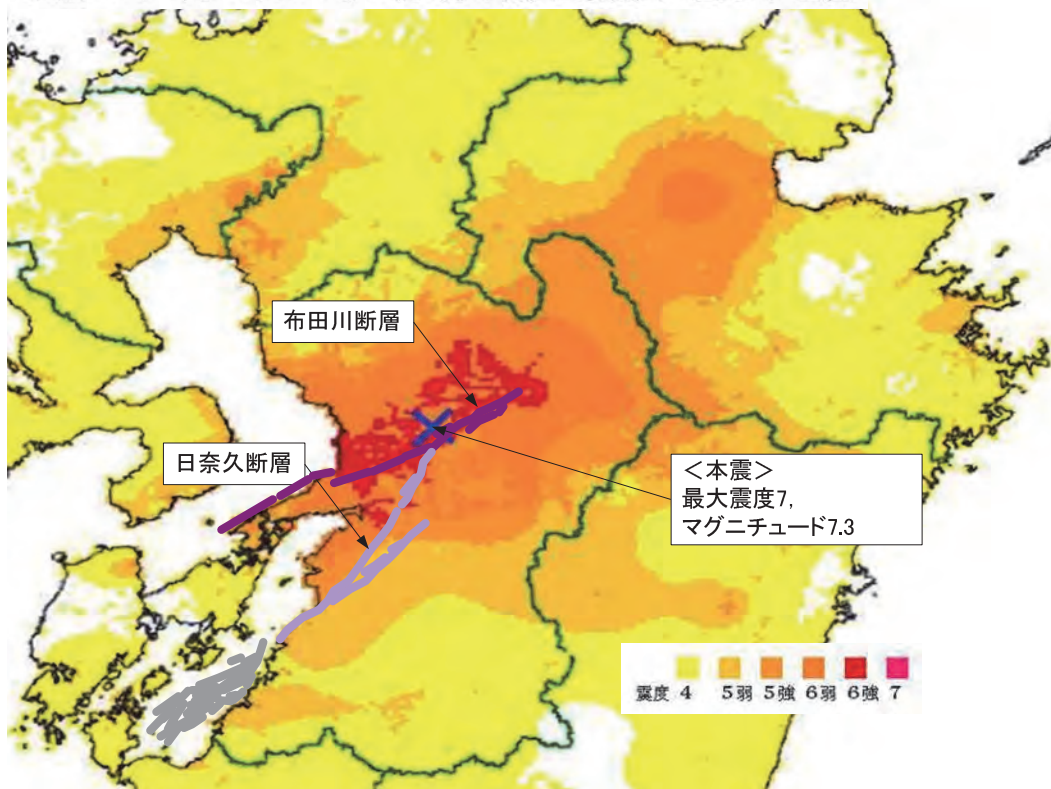


図-5.1 熊本県・大分県の震度分布図¹⁾ (断層を加筆)

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

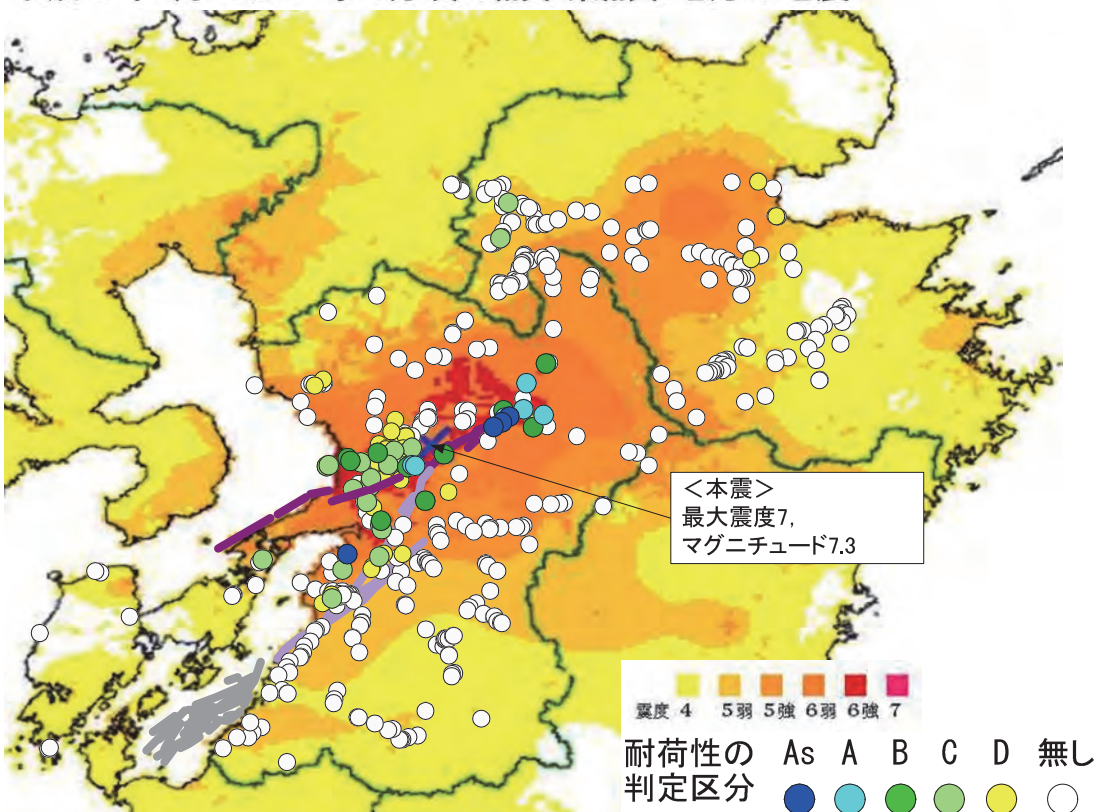


図-5.2 損傷分布図 全判定区分 (震度分布図¹⁾に加筆)

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

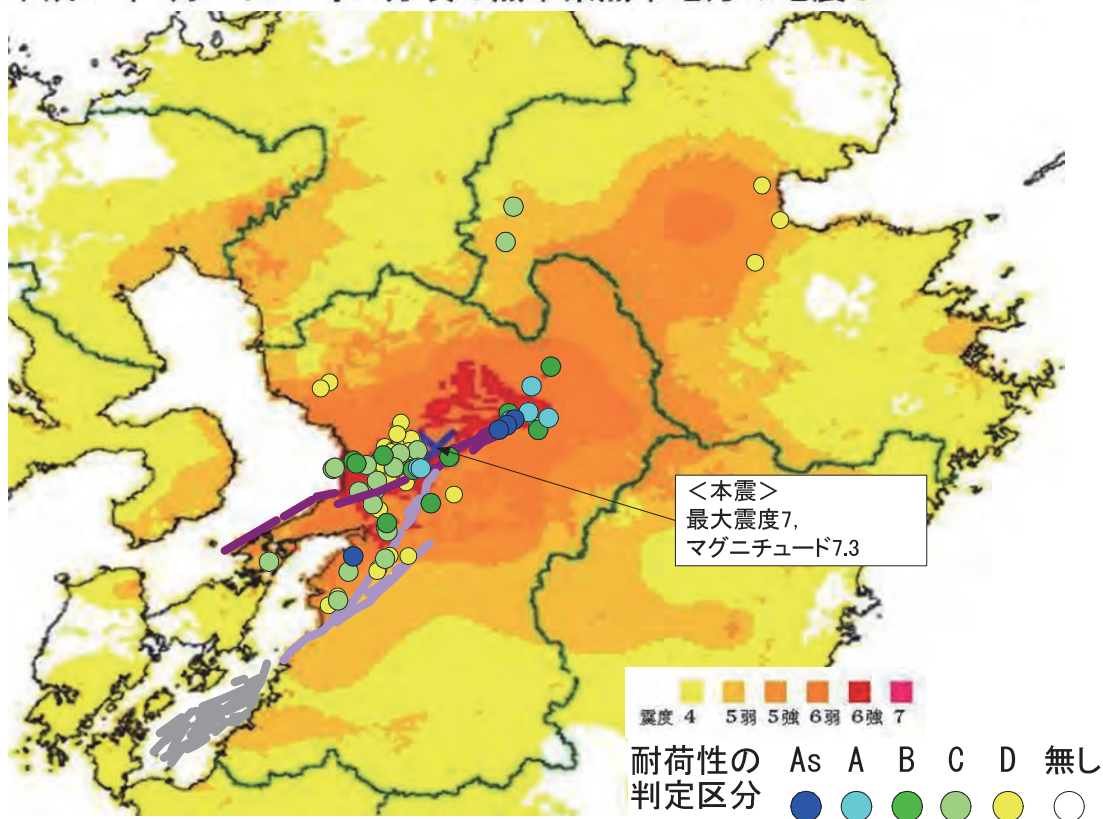


図-5.3 損傷分布図 判定区分 As～D（震度分布図¹⁾に加筆）

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

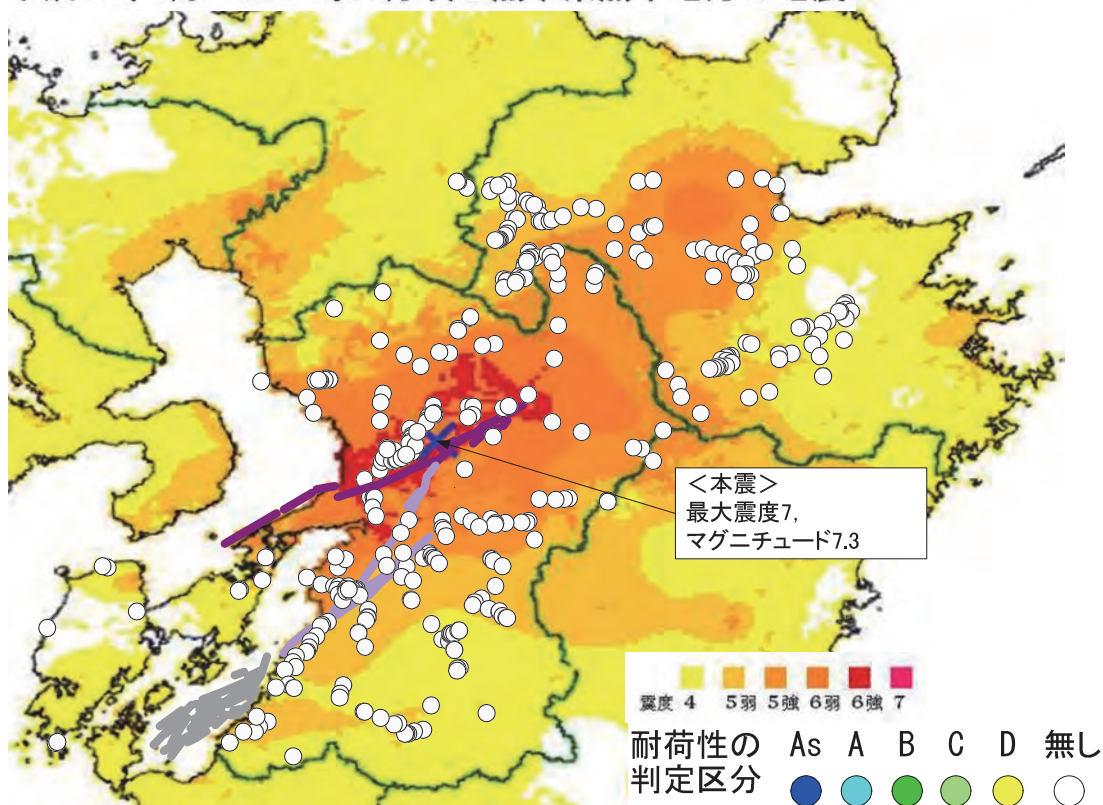


図-5.4 損傷分布図 損傷無しのみ（震度分布図¹⁾に加筆）

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

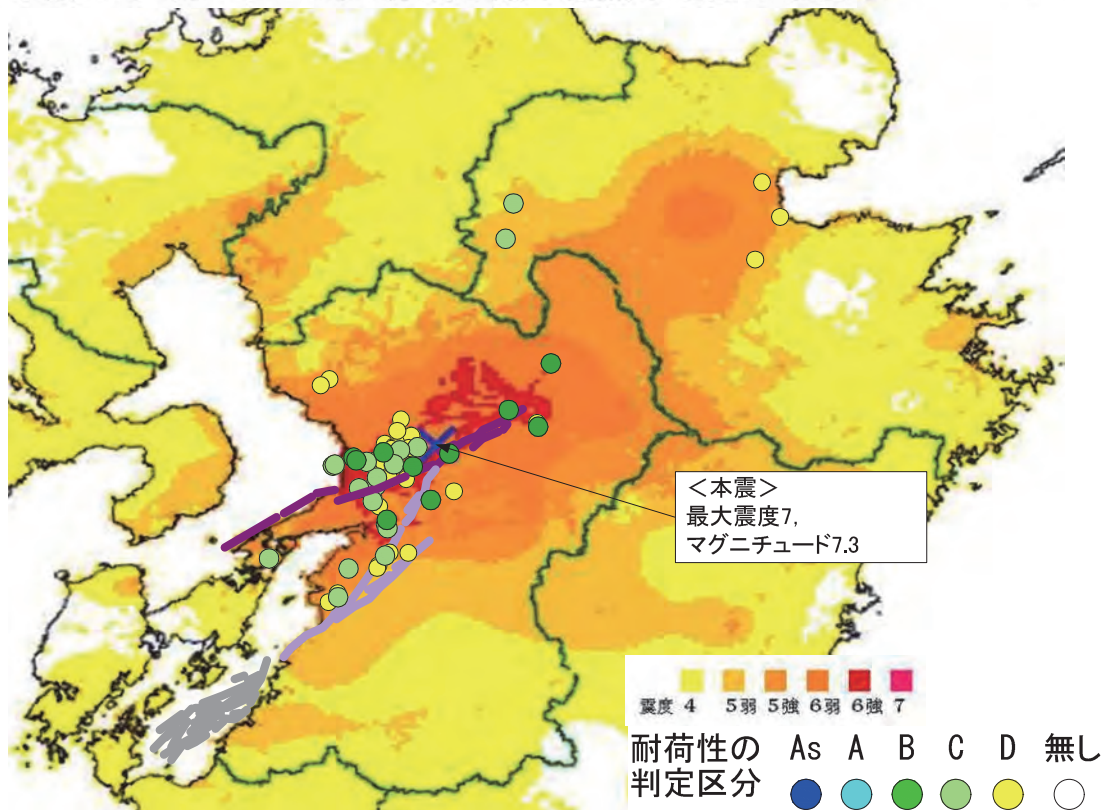


図-5.5 損傷分布図 判定区分 B～D（震度分布図¹⁾に加筆）

平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震

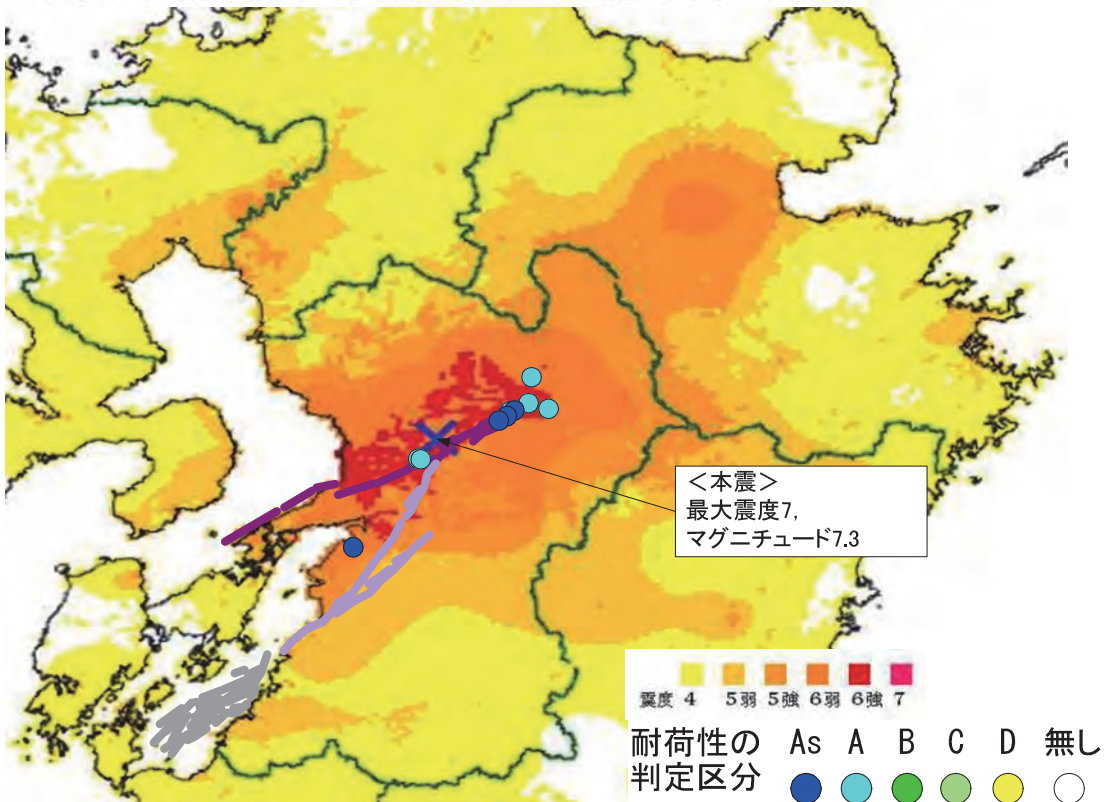


図-5.6 損傷分布図 判定区分 As、A（震度分布図¹⁾に加筆）

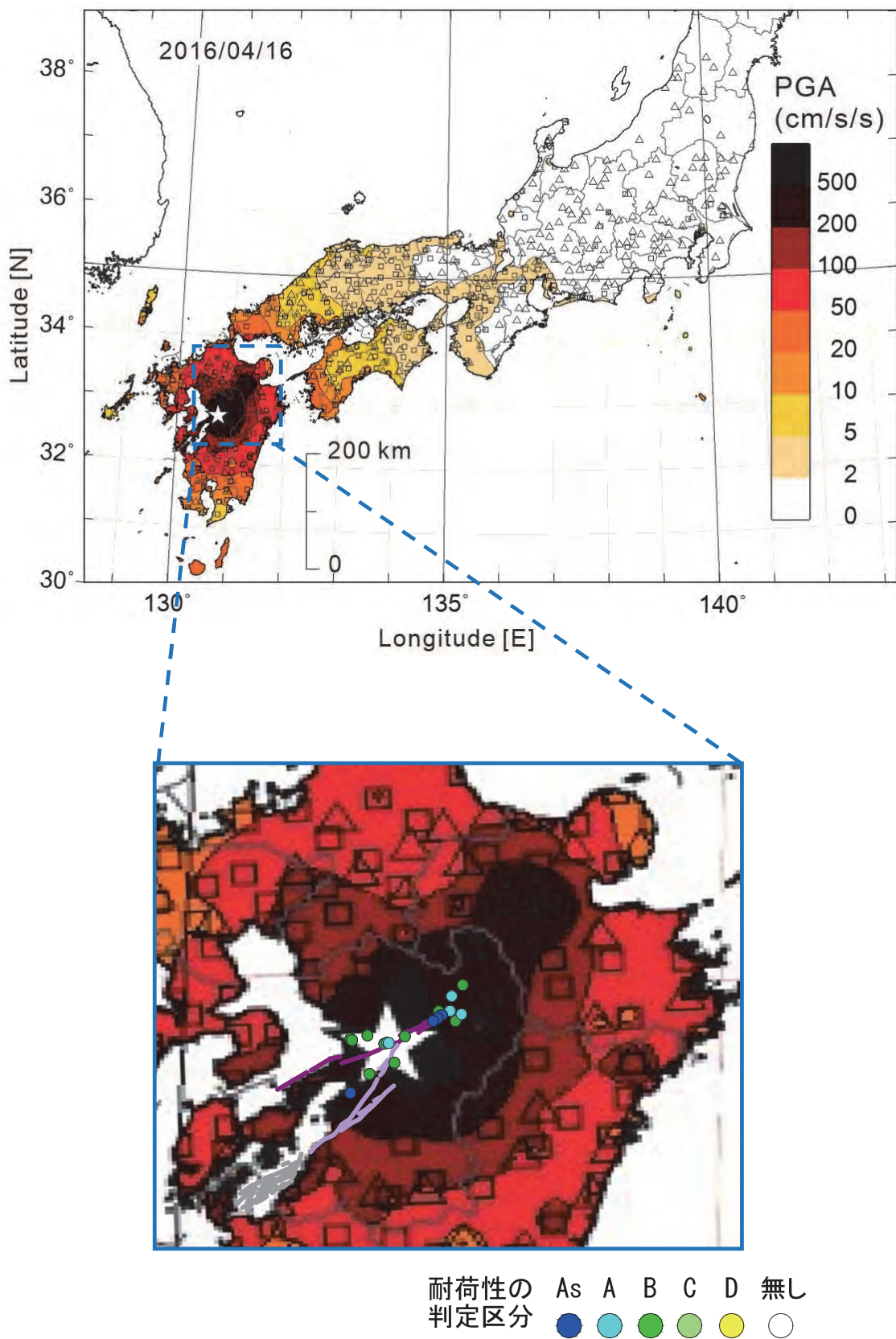
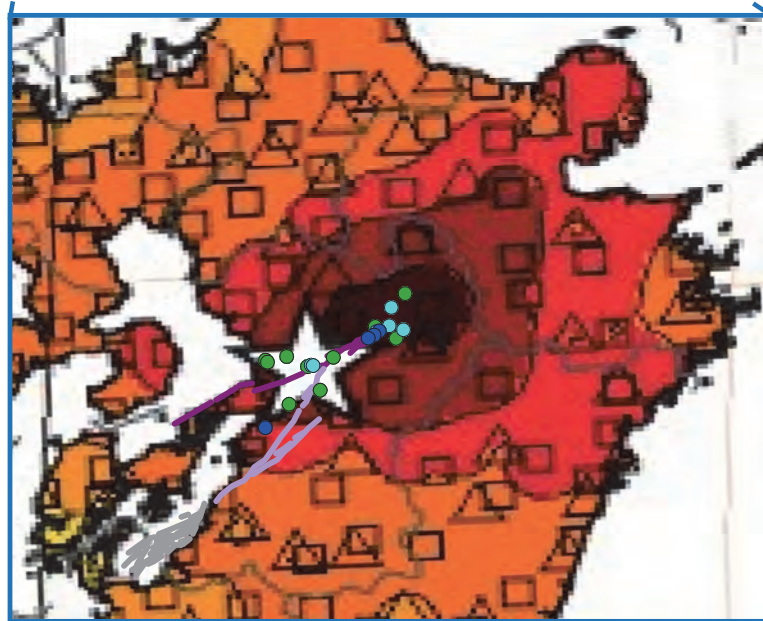
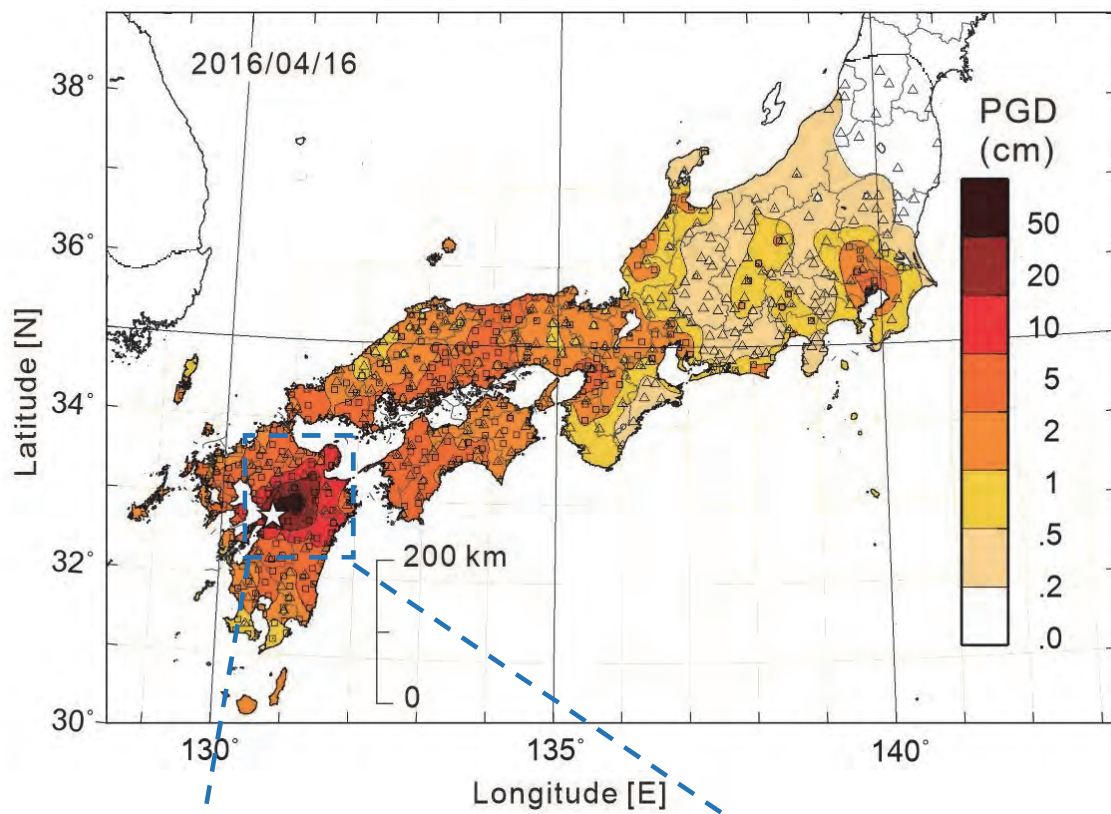


図-5.7 損傷分布図 判定区分 As、A、B（最大加速度図³⁾に加筆）



耐荷性の
判定区分

As	A	B	C	D	無し
●	●	●	●	●	○

図-5.8 損傷分布図 判定区分 As、A、B（最大地動変位図³⁾に加筆）

5. 2 橋梁被害と地殻変動

今回の熊本地震の発生機構は南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型とされ、前記のとおり、大きな被害を受けた橋梁は特に布田川断層帯付近に集中して分布しており、この中には、ゴム支承が破断して上部工が橋台・橋脚上に落下する等の、大規模な損傷が生じた橋梁が存在する。ここで、構造物が落下・転倒する方向と地震動との関係については、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の際に、墓石の転倒方向と地震の主要動の方向、すなわち地表面変位の方向との相関関係があるという知見が得られている⁴⁾。そこで、今回の調査で損傷度合いの大きい結果となった橋梁と、布田川断層帯近傍における地殻変動との関係から、橋梁被害の内容について考察する。

（1）橋梁の方向と地殻変動の関係

国土地理院による、本震での水平方向の地殻変動の観測データ⁵⁾を図-5.9に示す。なお、前記の震度分布図と同様に、断層帯についても図中に加筆した。この図から、布田川断層帯近傍の地殻は大きく変動しており、特に長陽観測点では南西方向に約 97 cm も移動していることがわかる。

次に、この図に損傷度合いの大きい判定区分 As～A の橋梁をプロットしたものを図-5.10に示す。耐荷性の判定区分による色分けは前記の図-5.2～図-5.6と同じだが、凡例については、長手方向を橋軸方向とした長方形として、橋梁の方向を明示した。なお、図の縮尺との関係から凡例同士が重なってしまっていることや、橋梁の寸法や平面曲線等については反映していない点については、ご容赦願いたい。

まず、判定区分 As の橋梁は布田川断層帯近傍に 3 橋存在し、いずれも断層上あるいは近接して分布しているとともに、大きな地殻変動が観測された長陽観測点付近に位置していることがわかる。また、橋梁に対する地殻変動の方向は、①と③の橋梁は橋軸直角方向、②の橋梁は橋軸方向が支配的となっている。続いて、判定区分 A の橋梁は、いずれもほぼ南北方向の配置となっており、地殻変動の方向は橋軸直角方向が支配的となっている。この地殻変動と橋梁の方向との関係を確認するため、図中の①～⑦の橋梁について、損傷状況と照らし合わせながら考察を行う。

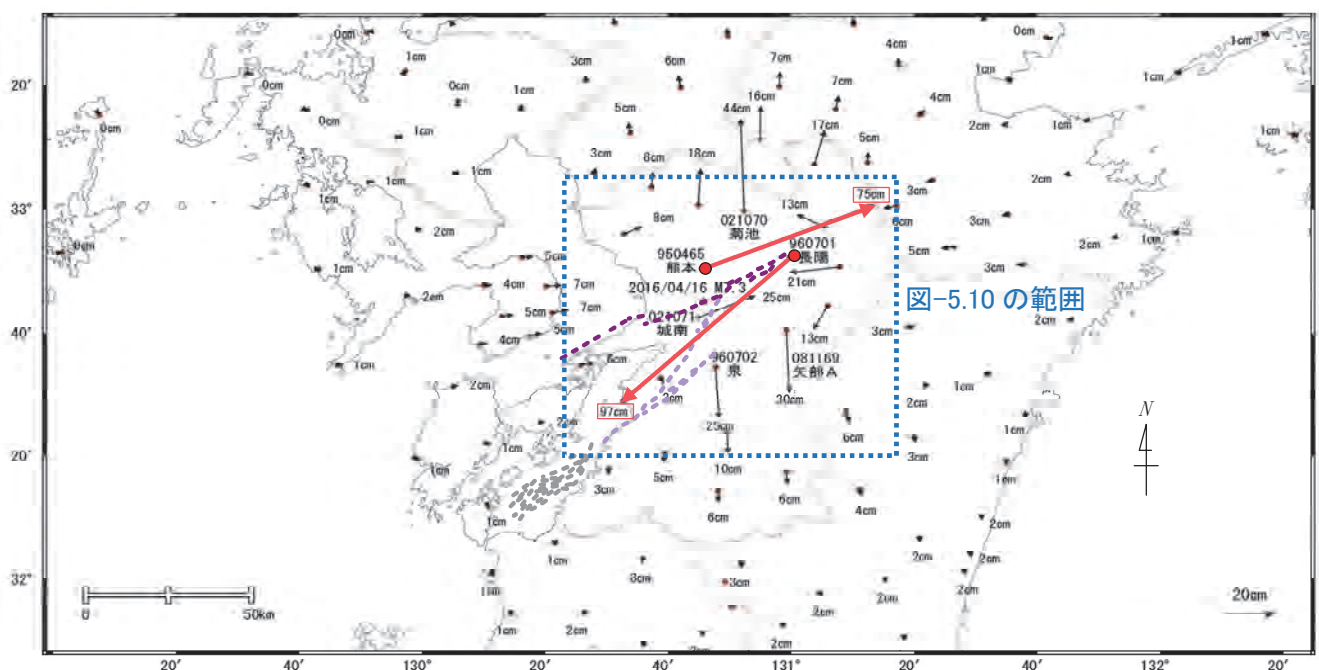


図-5.9 地殻変動図（水平方向）⁵⁾（断層を加筆）

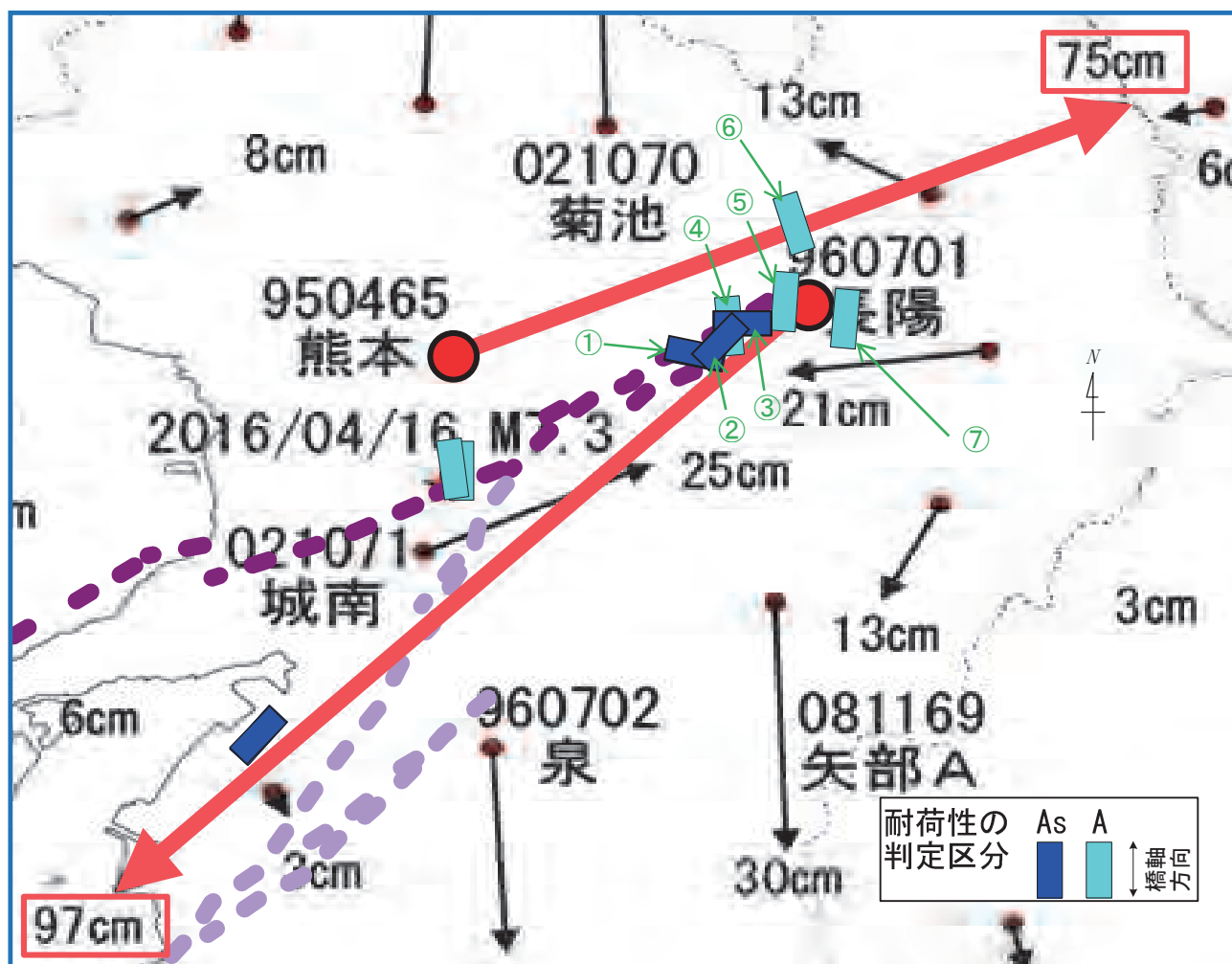


図-5.10 橋梁の方向と地殻変動の関係 判定区分 As、A（地殻変動図（水平方向）⁵⁾に加筆）

（２）判定区分 As の橋梁についての考察

① 大切畑大橋

大切畑大橋は平面曲線を有する 5 径間連続非合成鈹桁橋であり、地震動により積層ゴム支承が橋軸直角方向に大きく変形し、図-5.11 (a) の赤色×印の橋台・橋脚部でゴム支承が破断した(写真-5.1、5.2)。その結果、上部工は橋台・橋脚上に落下し、この橋軸直角方向の移動量は下部工に対して約 1 m であつ



写真-5.1 A1 橋台部の損傷状況



写真-5.2 A2 橋台部の損傷状況

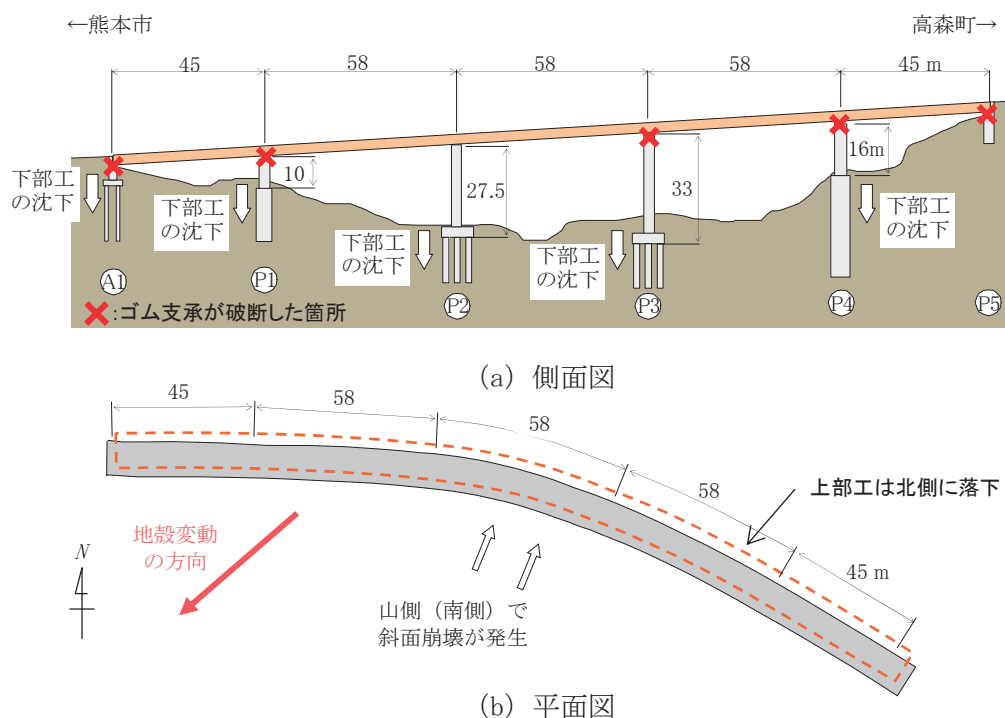


図-5.11 大切畑大橋の一般図と損傷状況

た。積層ゴム支承が破断するに至った原因として、下部工の沈下や曲線橋特有の回転挙動の他に、図-5.11 (b) のとおり橋梁の山側（南側）で生じた斜面崩壊に伴い、下部工が押されてゴム支承に過大な変形が生じたという見解もあるが、上部工が下部工に落下した方向は谷側（北側）であり、もし下部工が南から北側に押されたとすると、上部工は反対の南側にずれると考えるのが自然であると、疑問を呈している⁶⁾。それに対し、図-5.10 で示したとおり、本橋梁に対する地殻変動の方向は橋軸直角方向が支配的であると推測され、地殻が南西方向に大きく移動していることから、この地殻変動に合わせて下部工が南西方向に移動し、その慣性力で積層ゴム支承の橋軸直角方向に過大な変形が生じて破断に至り、上部工が地殻変動と逆方向の北側に落下した可能性が考えられる。

② 桑鶴大橋

桑鶴大橋は2径間連続の鋼斜張橋であり、図-5.12 (a) の赤色×印に示すA2橋台およびP1橋脚部で、地震動により鋼製支承が損壊し、上部工が橋台・橋脚上に落下した。特に、A2橋台では変位制限構造の

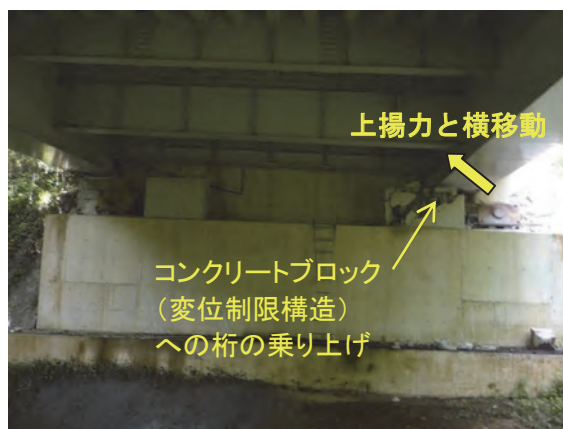


写真-5.3 A2橋台部の損傷状況



写真-5.4 A1橋台部の損傷状況

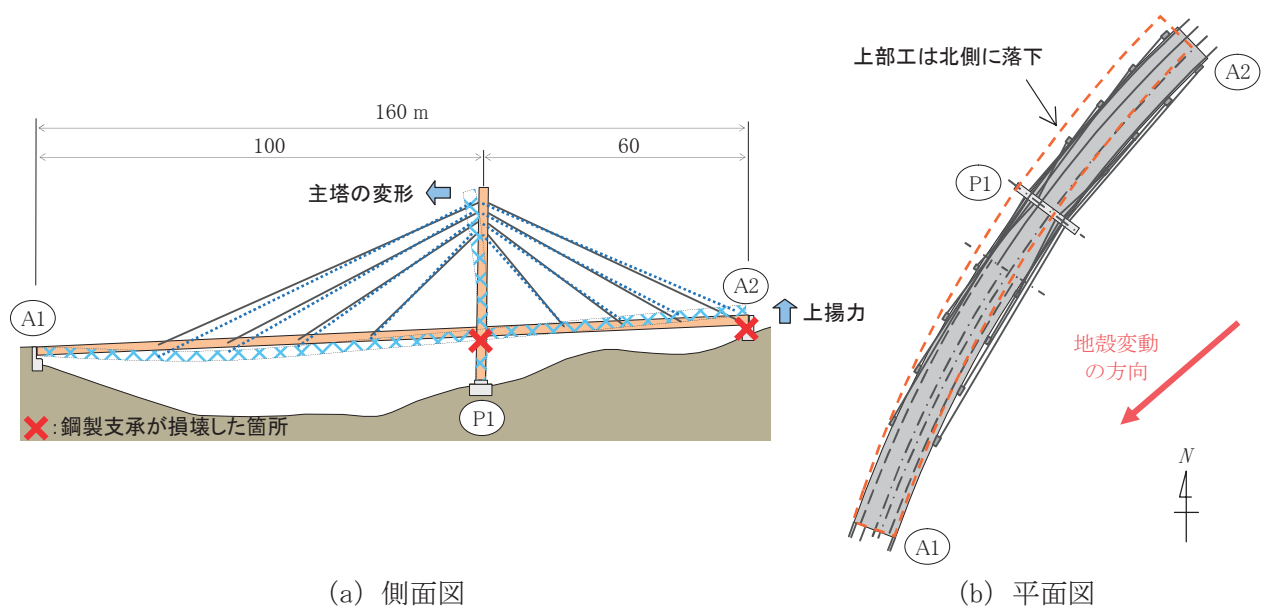


図-5.12 桑鶴大橋の一般図と損傷状況

下部工付きコンクリートブロックに桁が乗り上げている（写真-5.3）。図-5.10 で示したとおり、本橋梁に対する地殻変動の方向は橋軸方向が支配的であると推測され、A1 橋台部では上部工と橋台とを橋軸方向に連結した落橋防止構造において、橋台側に埋設されたアンカーボルトが、橋軸方向の地震力により引き抜かれて破断が生じている（写真-5.4）。また、図-5.12 (a) のとおり本橋梁は A1 側の径間が長い支間割となっているため、主塔は斜張橋のケーブルを介して桁に引かれて、A1 側方向に大きく変形したものと推測され、反対側の A2 橋台部の支承には過大な上揚力が作用したものと考えられる。加えて、南西方向の地殻変動と本橋特有の平面曲線による影響から鋼製支承が破損し、大切畑大橋と同様に上部工が北側に落下した可能性が考えられる。

③俵山大橋

俵山大橋は 3 径間連続非合成鈹桁橋であり、図-5.13 (a) のとおり下部工が鉛直方向と水平方向に複雑に移動しており、A1・A2 両橋台で主桁がパラペットと衝突し、A1～P1 径間では主桁下フランジや対傾構に座屈が生じている（後述の 6 章、7 章を参照のこと）。また、図中の赤色×印に示す P2 橋脚および A2 橋台部で積層ゴム支承が損傷し、上部工が北側に移動した。写真-5.5 を見ると、A2 橋台部では積層ゴム支承のゴム体には主だった損傷は認められず、P2 橋台部においても写真-5.6 のとおり同様の傾向である。よって、本橋梁の積層ゴム支承の損傷は、支承と上査または下部工側ベースプレートとを連



写真-5.5 A2 橋脚部の損傷状況



写真-5.6 P2 橋台部の損傷状況

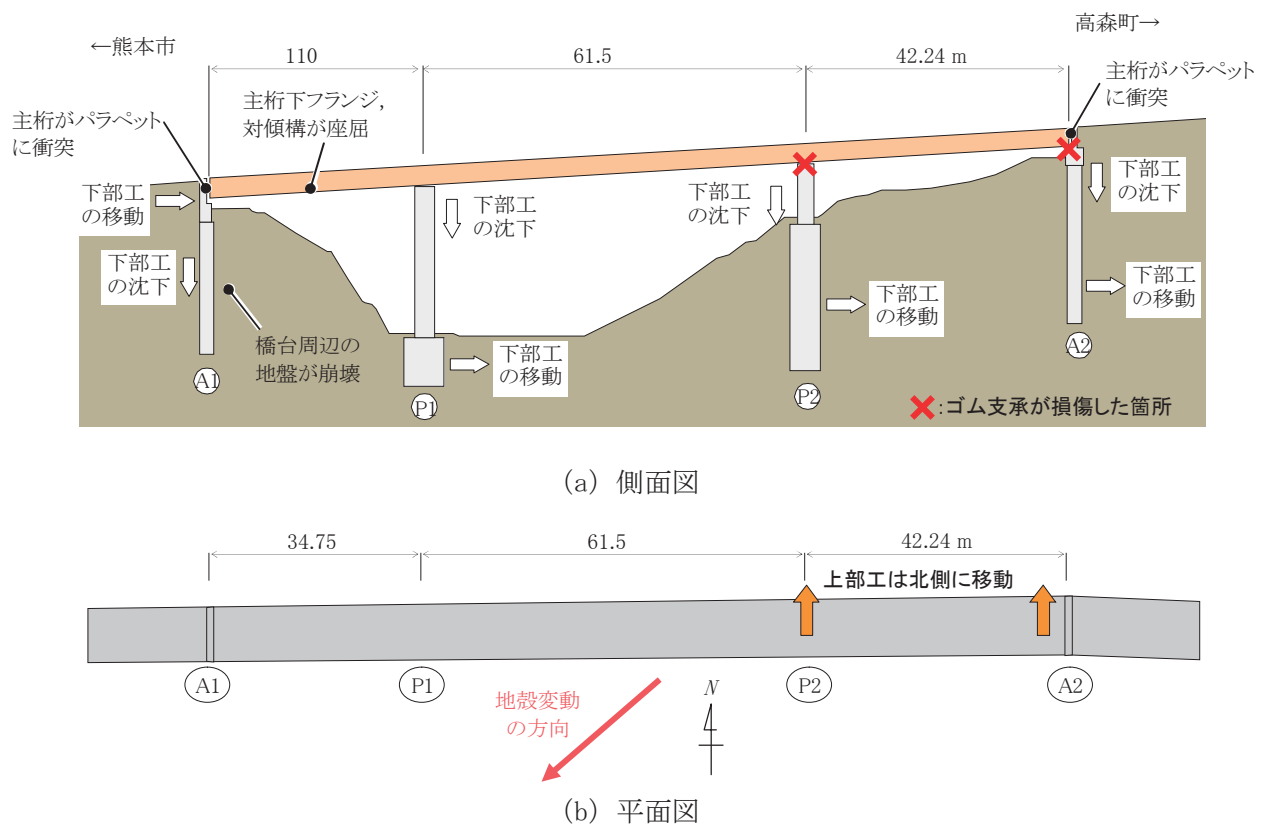


図-5.13 俵山大橋の一般図と損傷状況

結するボルトの破断によるものと考えられる。

上記のとおり、本橋では下部工の沈下や水平方向への移動が複雑に連成して発生しており、積層ゴム支承の損傷は地震動の影響のみではなく、この下部工の移動の影響が加わったものと考えられるが、P2橋脚およびA2橋台部での損傷状況から勘案すると、橋軸直角方向に大きな地震力も作用したのと考えられる。図-5.10で示したとおり、本橋梁に対する地殻変動の方向は橋軸直角方向が支配的であると推測され、地殻が南西方向に大きく移動していることから、下部工の移動と前記の大切畑大橋と同様の機構により、積層ゴム支承の橋軸直角方向に過大な水平力が作用し、ゴム支承の固定ボルトが破断して、上部工が北側に移動した可能性が考えられる。

以上により、布田川断層帯近傍に位置する判定区分Asの3橋は、支承の損傷に伴い、全て上部工が北側方向に移動したことになる。

(3) 判定区分Aの橋梁についての考察

図-5.10中の④～⑦は判定区分Aの橋梁であり、前記のとおり全て南北方向の配置となっており、地殻変動の方向は橋軸直角方向が支配的であるため、橋軸直角方向の被害が大きいものと推測される。

④の橋梁は扇の坂橋（3径間連続曲線鈑桁橋）であり、写真-5.7のとおり積層ゴム支承が橋軸直角方向に大きく変形しており、伸縮装置部においても約30cm横ずれが生じている（写真-5.8）。

⑤の橋梁は南阿蘇橋（鋼上路式ローゼアーチ橋）であり、A2橋台部の粘性ダンパー基部が破損し、橋台から外れてしまっている（写真-5.9）。粘性ダンパーは大規模地震時の橋軸方向のエネルギーを吸収する目的で設置されたものであるが、写真-5.10のとおり、ダンパー基部が橋軸直角方向の変位制限も兼ねる構造となっている。このため、粘性ダンパーが十分に効果を発揮する前に、橋軸直角方向の地震動によりダンパー基部が破損した可能性が考えられる。



写真-5.7 扇の坂橋 支承部の状況



写真-5.8 扇の坂橋 伸縮装置部の状況



写真-5.9 南阿蘇橋 ダンパー基部の損傷



写真-5.10 南阿蘇橋の変位制限構造と横移動痕⁷⁾



写真-5.11 大正橋 主桁腹板の損傷 (A1 橋台部)



写真-5.12 大正橋 主桁腹板の損傷 (A2 橋台部)



写真-5.13 平成長野大橋 主桁の損傷



写真-5.14 平成長野大橋 支承部の状況

⑥の橋梁は大正橋（単純非合成箱桁橋）であり、写真-5.11、写真-5.12のとおり橋台パラペットを連結する落橋防止ブラケット部で、主桁腹板が面外方向に座屈変形している。

⑦の橋梁は平成長野大橋（πラーメン橋）であり、写真-5.13、写真-5.14のとおり上部工が橋軸直角方向に大きく変形し、支承から脱落していることがわかる。

以上、布田川断層帯近傍に位置する大規模な損傷が生じた橋梁について、地殻変動の観測データを基に、橋梁の方向や損傷状況と照らしあわせながら考察を行った。その結果、橋梁が落下・移動した方向や損傷形態から、地震時に橋梁に作用する水平力の卓越方向は、地殻変動の方向と強い相関関係がある可能性を見出した。今回の地震では、地殻変動は主に断層に並行した方向に生じており、実際、益城町や西原村では地震動の水平成分の平面内履歴から、いずれの地点においても主として断層走行方向に1G近い加速度が観測されている⁸⁾。また、文献9)では断層変位を考慮して解析的に再現した地震動から、断層近傍の構造物は地震動による加速度による慣性力だけではなく、断層変位の影響を大きく受けることが示されており、本章の考察結果と概ね整合がとれている。

熊本地震においては、特に支承部が橋軸直角方向に損傷し、それが上部工にも被害が及んで、橋梁の速やかな機能回復を困難にした印象が強い。現行の道路橋示方書では、上部構造の構造条件や幾何学的条件等から横変位拘束構造の要否が決定されるが、配慮事項に断層帯の位置や予想される地殻変動の方向についても加えるなど、検討の余地があるものと考えられる。今回の分析は、一部の観測データと損傷状況のみからの一考察であるが、今後も起きうる大規模地震に対して十全な対応を行っていく上で、有益な知見を得られたものと考えている。

〈参考文献〉

- 1) 気象庁ホームページ (http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html)
- 2) 福永靖雄、西山晶造、朽木正喜：平成 28 年熊本地震による高速道路橋の被害報告、橋梁と基礎、Vol.50、No.7、pp.38-39、2016.
- 3) 東京大学地震研究所ホームページ (<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>)
- 4) 岩下友也、中村昭、松本徳久、横山真至：兵庫県南部地震における墓石転倒調査による断層近傍の地震動特性、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、pp.17-22、1996.1
- 5) 国土地理院ホームページ (<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>)
- 6) 日経コンストラクション、2016.7.11号
- 7) 東北大学災害化学国際研究所 構造物・土砂災害調査チーム：平成 28 年熊本地震調査報告書（速報）、2016.
- 8) 渡邊学歩、葛西昭、松永昭吾、益田諒大：2016 年熊本地震による大切畑大橋の被害分析、第 19 回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、pp.177-184、2016.
- 9) 本橋英樹、野中哲也、馬越一也、原田隆典：熊本地震の断層近傍の橋梁に対する地震力と崩壊メカニズムの一考察、第 19 回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、pp.191-198、2016.

6. 損傷事例

損傷事例については、被害の大きかった耐荷性判定区分 As、A、及び走行性判定区分 a の内、代表的な損傷事例を写真で紹介する。図-6.1 に紹介する橋梁の位置を示す。

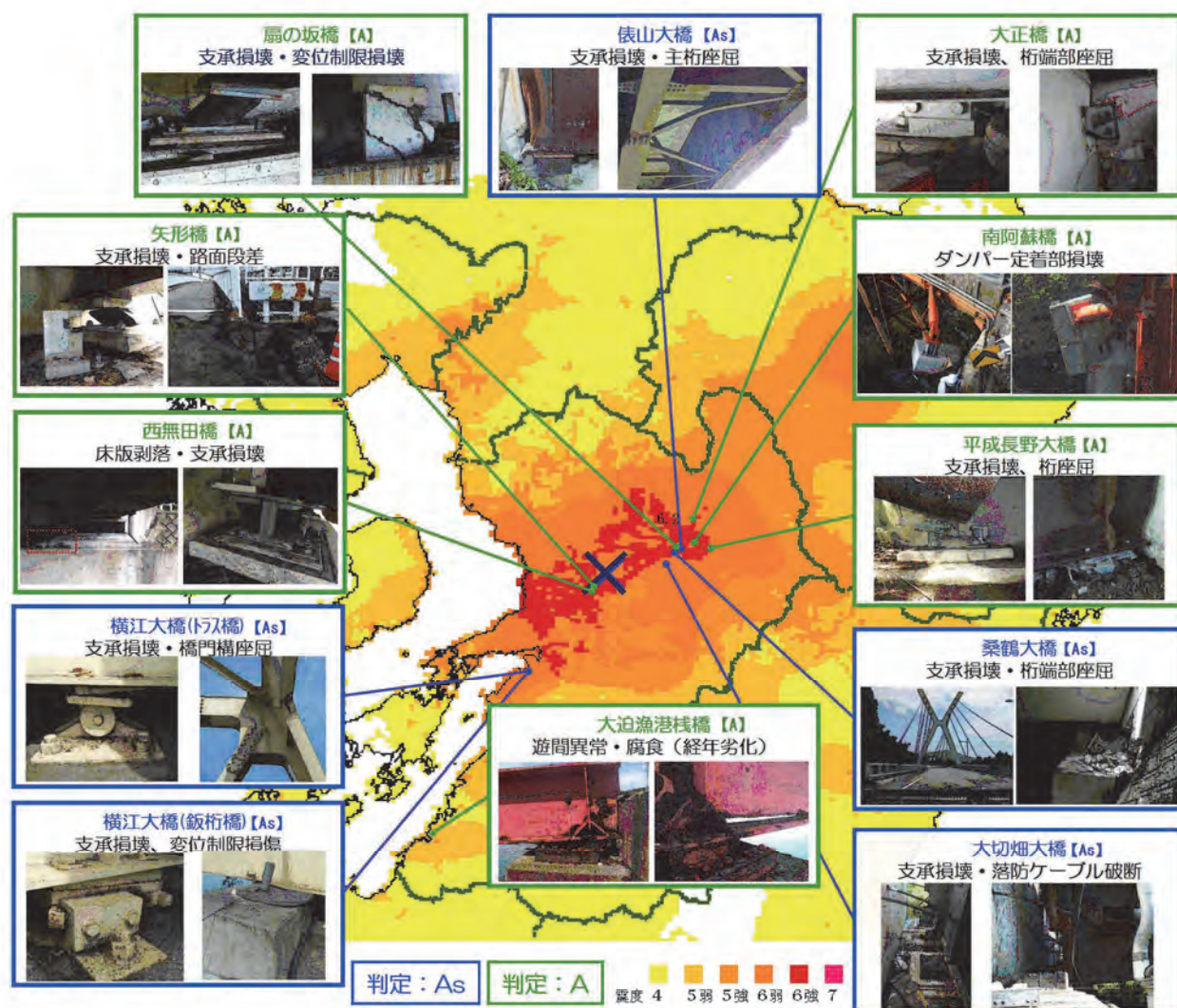


図-6.1 重度損傷（判定：As, A）橋梁位置図

6. 1 耐荷性判定区分 As の損傷事例

(1) 大切畑大橋



写真-6.1 路面（A2側より展望）

管理者	熊本県
事務所名	阿蘇地域振興局
路線名	県道 28 号
架橋場所	阿蘇郡西原村小森地内
橋梁名称	大切畑大橋（大切畑 1 号橋）
竣工年月	2001 年 3 月（平成 13 年）
形式	5 径間連続曲線線形橋
橋長（m）	265
支間（m）	44.9+3*58.0+44.9
有効幅員（m）	車道部 8.0 歩道部 3.5
鋼重（t）	955



写真-6.2 A1 伸縮装置破損



写真-6.3 A2 伸縮装置破損



写真-6.4 A2 桁端部腹板等変形



写真-6.5 A2 橋台支承積層ゴム下部で破断

(2) 桑鶴大橋



写真-6.6 全景

管理者	熊本県
事務所名	阿蘇地域振興局
路線名	県道 28 号
架橋場所	阿蘇郡西原村小森地内
橋梁名称	桑鶴大橋
竣工年月	1997 年 11 月（平成 9 年）
形式	2 径間連続鋼斜張橋
橋長（m）	160
支間（m）	99.4+59.4
有効幅員（m）	車道部 8.0 歩道部 3.5
鋼重（t）	1189



写真-6.7 A2 伸縮装置（約 40cm の段差）



写真-6.8 A2 支承セットボルト破断



写真-6.9 斜ケーブルソケットカバーの脱落

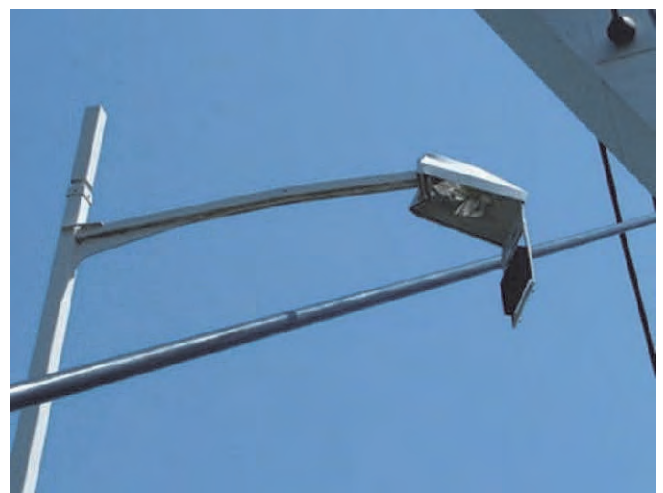


写真-6.10 斜ケーブル照明柱と接触、被覆損傷

(3) 俵山大橋



写真-6.11 A1 橋台背面 土砂崩落

管理者	熊本県
事務所名	阿蘇地域振興局
路線名	県道 28 号
架橋場所	阿蘇郡西原村鳥子地内
橋梁名称	俵山大橋
竣工年月	2000 年 6 月 (平成 12 年)
形式	3 径間連続鉄桁橋
橋長 (m)	140
支間 (m)	34.75+61.5+42.25
有効幅員 (m)	8.5
鋼重 (t)	374



写真-6.12 腹板、下フランジ等座屈



写真-6.13 落橋防止ケーブルの損傷



写真-6.14 A1 橋台 積層ゴムの残留変形



写真-6.15 A1 橋台 伸縮装置に舗装乗上げ

(4) 横江大橋 (トラス部、鈑桁部)



写真-6.16 全景 (終点・側面)

管理者	熊本県
事務所名	八代平野土地改良事務所
路線名	県道 338 号
架橋場所	熊本県八代郡鏡町宝出 ～鏡町野崎
橋梁名称	横江大橋
竣工年月	1979 年 3 月 (昭和 54 年)
形式	鋼 2 径間単純合成桁 ・鋼 2 径間単純トラス桁
橋長 (m)	60
支間 (m)	-
有効幅員 (m)	7.35
鋼重 (t)	-

調査・点検簿

橋梁名 横江大橋

橋梁管理者 熊本県

路線名 県道338号

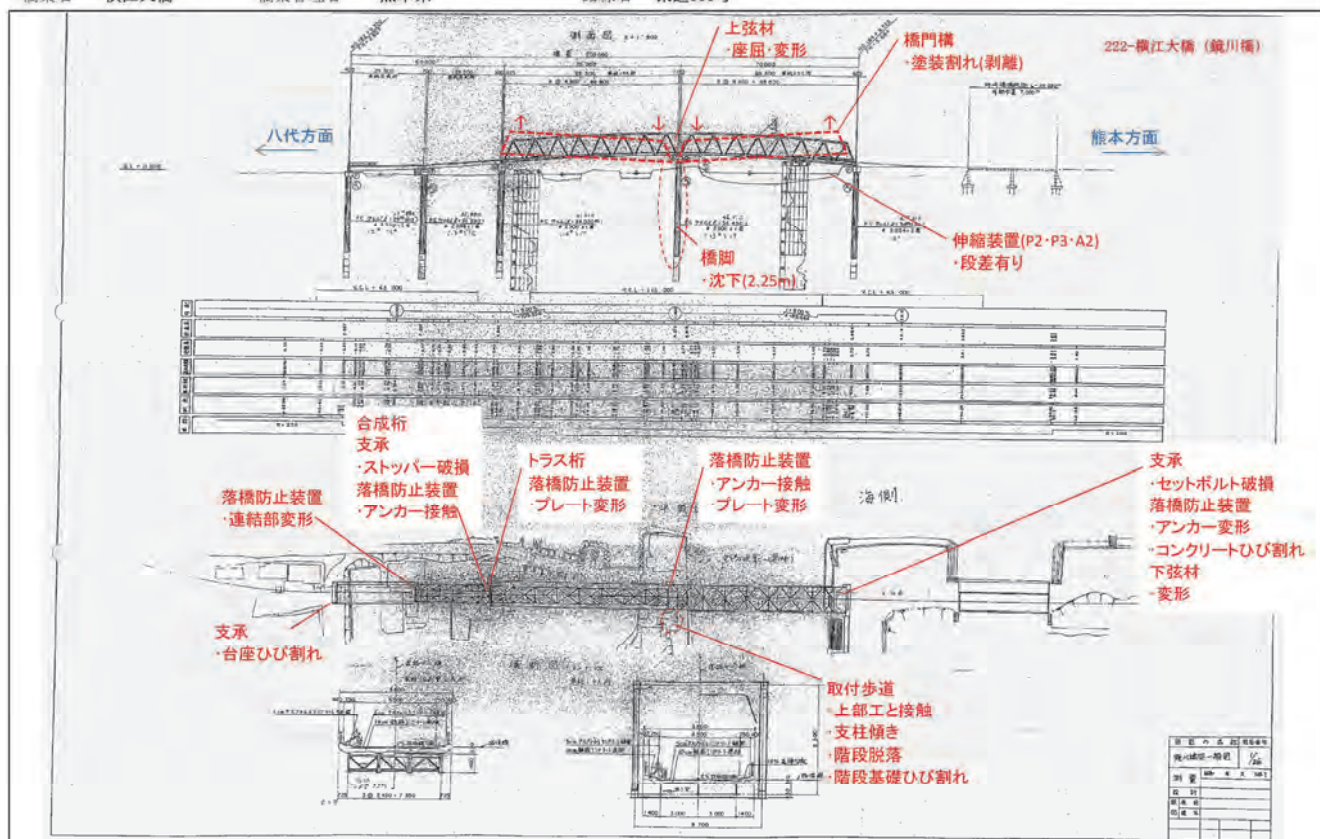


図-6.1 調査・点検簿



写真-6.17 P3 橋脚（取付歩道部）
取付歩道部階段の脱落



写真-6.18 P3 橋脚（路面上） P3 橋脚の沈下（約 2.25m）



写真-6.19 P3 橋脚（起点側）約 2.25m 沈下



写真-6.20 P3 橋脚（終点側）約 2.25m 沈下

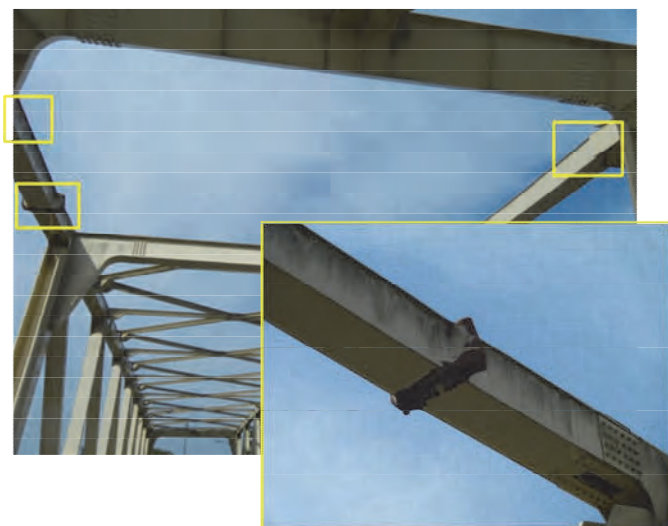
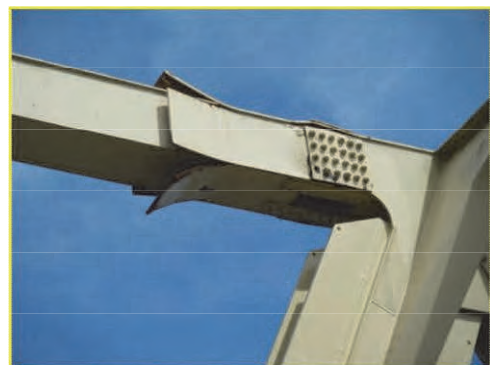


写真-6.21 P3 擬似連結部で座屈・変形



6. 2 耐荷性判定区分 A の損傷事例

(1) 平成長野大橋



管理者	森林農地センター
事務所名	-
路線名	国道 325 号
架橋場所	熊本県阿蘇群南阿蘇村大字長野
橋梁名称	平成長野大橋
竣工年月	1995 年 3 月 (平成 7 年)
形式	π ラーメン橋
橋長 (m)	120
支間 (m)	-
有効幅員 (m)	-
鋼重 (t)	-

写真-6. 22 全景



写真-6. 23 A1 橋台背面の土砂崩落



写真-6. 24 A2 橋台パラペットのひび割れ



写真-6. 25 A2 橋台 主桁の変形、支承の損傷

(2) 南阿蘇橋



写真-6.26 全景

管理者	熊本県
事務所名	-
路線名	国道 325 号
架橋場所	熊本県阿蘇群長陽村河陽
橋梁名称	南阿蘇橋
竣工年月	1971 年 3 月 (昭和 46 年)
形式	上路アーチ
橋長 (m)	110
支間 (m)	80.0+2@14.6
有効幅員 (m)	8
鋼重 (t)	-



写真-6.27 A1 側制振ダンパー
コンクリート基部のひび割れ



写真-6.28 A2 側制振ダンパー
コンクリート基部破損



写真-6.29 A1 側伸縮装置 遊間無し



写真-6.30 A2 側伸縮装置 遊間大 (応急復旧済)

(3) 大正橋



管理者	熊本県
事務所名	-
路線名	県道 149 号
架橋場所	熊本県阿蘇市の石地内
橋梁名称	大正橋
竣工年月	1996 年（平成 8 年）
形式	単純非合成箱桁橋
橋長（m）	63.3
支間（m）	61.9
有効幅員（m）	12.63
鋼重（t）	-

写真-6.31 橋面（A2 側から A1 側を眺望）



写真-6.32 A1 G1 桁端部腹板の変形



写真-6.33 A2 G1 桁端部腹板の変形



写真-6.34 A2 G2 桁支承の損傷



写真-6.35 A1 G2 桁部 床版下面の損傷

(4) 扇の坂橋



写真-6.36 橋面（A2側からA1側を展望）

管理者	熊本県
事務所名	阿蘇地域振興局
路線名	県道 28 号
架橋場所	阿蘇郡西原村鳥子地内
橋梁名称	扇の坂橋（俵山 1 号橋）
竣工年月	2001 年 2 月（平成 13 年）
形式	3 径間連続曲線鈑桁橋
橋長（m）	128
支間（m）	38.9+48.8+38.9
有効幅員（m）	車道部 8.0m 歩道部 3.0m
鋼重（t）	455



写真-6.37 A1 伸縮装置の破損（約 30cm 移動）



写真-6.38 A2 伸縮装置は A1 と反対方向に移動して破損



写真-6.39 A1 ゴム支承の残留変形



写真-6.40 A2 ゴム支承の残留変形

(5) 矢形橋



管理者	熊本県
事務所名	-
路線名	県道 226 号
架橋場所	熊本県熊本市東区秋津町秋田
橋梁名称	矢形橋<矢形橋側道橋>
竣工年月	1979 年 3 月(昭和 54 年) <2001 年 12 月>(平成 13 年)
形式	単純鈑桁橋<2 径間連続鈑桁>
橋長 (m)	-
支間 (m)	-
有効幅員 (m)	-
鋼重 (t)	-

写真-6.41 全景

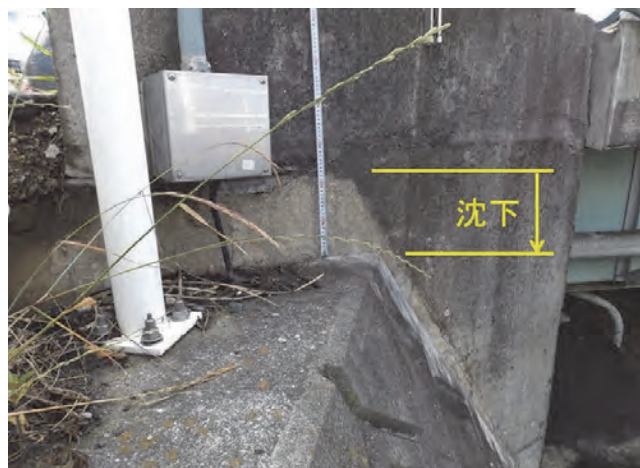


写真-6.42 左岸側 橋台背面の沈下



写真-6.43 橋台（側道橋）左岸側 腹板の損傷



写真-6.44 橋台（側道橋）左岸側 支承の損傷

(6) 西無田橋



写真-6.45 全景（下流側）

管理者	熊本市
事務所名	-
路線名	-
架橋場所	熊本市秋津町秋田地内
橋梁名称	西無田橋
竣工年月	1999 年 3 月（平成 11 年）
形式	3 径間連続非合成鈑桁
橋長（m）	113.5
支間（m）	37.5+37.5+37.5
有効幅員（m）	5.2
鋼重（t）	-



写真-6.46 左岸側 ゴム支承の残留変形



写真-6.47 橋台パラペットの空隙と
亀裂（約 1.4mm）

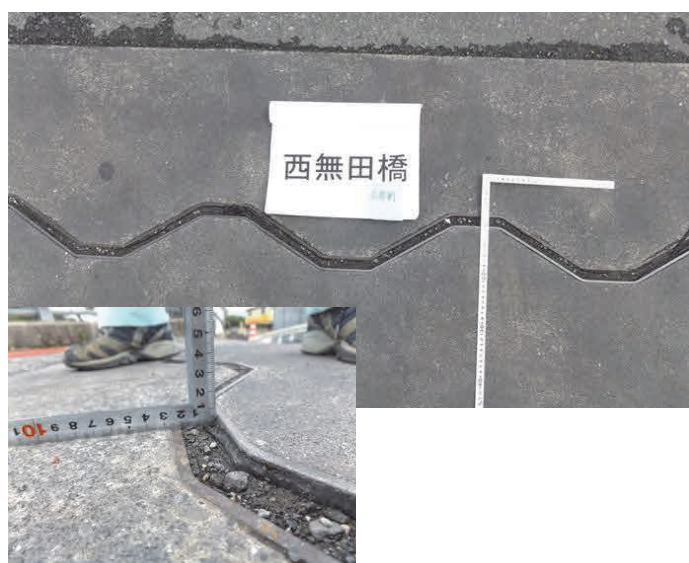


写真-6.48 右岸側 伸縮装置 6mm 程度の段差



写真-6.49 床版張り出し部の剥落

(7) 大迫漁港棧橋（経年劣化による腐食損傷）



写真-6.50 全景

管理者	熊本県
事務所名	-
路線名	県道 56 号に近接
架橋場所	熊本県葦北郡津奈木町岩城
橋梁名称	大泊魚港棧橋
竣工年月	-
形式	単純鋼桁橋
橋長 (m)	18.0
支間 (m)	-
有効幅員 (m)	2.0
鋼重 (t)	-



写真-6.51 陸上側支点部の腐食損傷

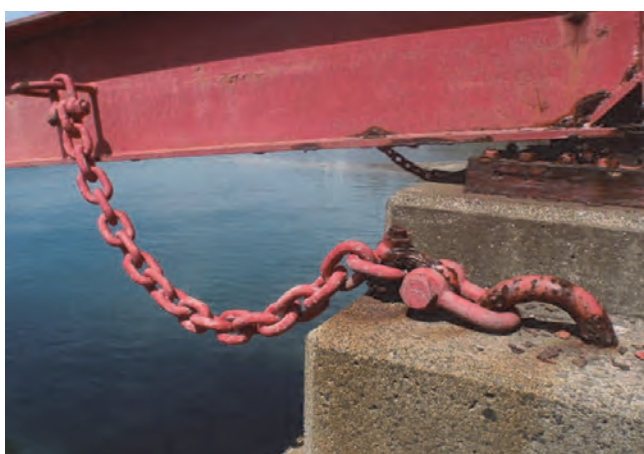


写真-6.52 落橋防止チェーンの腐食



写真-6.53 海上側支点部 ベースプレートの腐食

6. 3 走行性判定区分 a（通行不可）の損傷事例

(1) 白川橋



写真-6.54 全景

管理者	熊本県
事務所名	-
路線名	熊本停車場線
架橋場所	熊本県熊本市西区二本木1丁目
橋梁名称	白川橋
竣工年月	-
形式	-
橋長 (m)	69.6
支間 (m)	-
有効幅員 (m)	-
鋼重 (t)	-



写真-6.55 右岸側 支承の損傷



写真-6.56 左岸側 支承の損傷



写真-6.57 右岸側 伸縮装置の破損



写真-6.58 左岸側 伸縮装置の移動（約 30mm）

(2) 三里木横断歩道橋



写真-6.59 全景

管理者	九州地整
事務所名	-
路線名	県道 337 号
架橋場所	熊本県菊池郡菊陽町津久礼
橋梁名称	三里木横断歩道橋
竣工年月	1984 年 3 月 (昭和 59 年)
形式	歩道橋
橋長 (m)	-
支間 (m)	-
有効幅員 (m)	-
鋼重 (t)	-



写真-6.60 ボルトの抜け落ち、床版の損傷



写真-6.61 床版の損傷

7. 落橋防止システムについて

7. 1 耐震設計基準の変遷

今回の調査・点検では、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）や東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）を受けて行われてきた、諸規定の見直しや耐震補強工事を踏まえて、落橋防止システムの有効性を確認する事も1つのテーマとして行った。まず、表-7.1に耐震設計に関する諸規定の変遷を示す。

表-7.1 耐震設計に関する諸規定の変遷¹⁾

年代	年号	主な地震	耐震設計関連の規定	落橋防止対策の規定	As判定橋梁の架橋年		
1920	大正	12 関東地震(M7.9)		規定なし			
		15					
		1					
		4	1926(大正15)年 道路構造に関する細則案				
		5					
13							
1930	昭和	14					
		15					
		23 福井地震(M7.3)	1939(昭和14)年 鋼道路橋設計示方書案				
		24					
		25					
27 十勝沖地震(M8.1)							
1940	昭和	30					
		31					
		34	1956(昭和31)年 鋼道路橋設計示方書				
		35					
		38					
1960	昭和	39 新潟地震(M7.5)					
		43 十勝沖地震(M7.9)	1964(昭和39)年 鋼道路橋設計示方書				
		44					
		45					
1970	昭和	46 米国サンフェルナンド地震(M6.6)					
		53 宮城県沖地震(M7.1)	1971(昭和46)年 道路橋耐震設計指針	落橋防止対策を規定 (移動制限装置、支承縁端距離、桁間連結装置)	1979(昭和54)年 横江大橋 (トラス橋、鉸桁橋)		
		54					
		55					
		1980	昭和	57 浦河沖地震(M7.1)		1980(昭和55)年 道路橋示方書 V 耐震設計編	落橋防止対策を規定 (移動制限装置、桁かかり長SE、落橋防止装置)
58 日本海中部地震(M7.7)							
64							
1990	平成			1 米国ロフリエータ地震(M7.1)			
		2					
		5 釧路沖地震(M7.8) 北海道南西沖地震(M7.8)	1990(平成2)年 道路橋示方書 V 耐震設計編	同上			
		6 米国ノースリッジ地震(M6.6)					
		7 兵庫県南部地震(M7.3)			1995(平成7)年 兵庫県南部地震により被災した 道路橋の復旧に係る仕様	同上 ただし、落橋防止装置の強度を強化するとともに、複 数個の落橋防止装置を設置、また、緩衝機能を付与	
		8					
		9		1997(平成9)年 桑鶴大橋			
		11 台湾集集地震(M7.3) トルコジャエリ地震(M7.4)	1996(平成8)年 道路橋示方書 V 耐震設計編	同上 ただし、必要な機能を明確にして落橋防止システムを 構成(桁かかり長、落橋防止構造、変位制限構造、段 差防止構造から選択)			
		12 島根県西部地震(M7.3)			2000(平成12)年 俵山大橋		
		13 芸予地震(M6.7)			2001(平成13)年 大切畑大橋		
		2000	平成	14			
				15 十勝沖地震(M8.0)			
				16 新潟県中越地震(M6.8) インドネシアスマトラ島沖地震(M9.1)	2002(平成14)年 道路橋示方書 V 耐震設計編	同上	
19 能登半島地震(M6.9) 新潟県中越沖地震(M6.8)							
20 岩手・宮城内陸地震(M7.2)							
21							
2010	平成	22					
		23 東北地方太平洋沖地震(M9.0)					
		24					
		28 熊本地震(M7.3)	2012(平成24)年 道路橋示方書 V 耐震設計編	同上 ただし、橋の構造特性に応じてより合理的に落橋を 防止できるようにするために規定を見直し 支承部の役割と落橋防止システムの役割を明確化 取付部の規定を強化			

我が国では、1971 年に初めて落橋防止対策の規定がなされ、1995 年の兵庫県南部地震における内陸直下型地震による都市高架橋の甚大な被害を受けて、1996 年改定の道路橋示方書 V 耐震設計編（以降、道示）で落橋防止装置の強度が強化された。また、2011 年の東北地方太平洋沖地震を契機に 2012 年に改定された道示では、これまでに経験した大地震における既往の橋梁被害の分析等の結果を踏まえ、落橋防止構造を省略できる条件の適用範囲が拡大された。

表中には、今回の調査・点検で耐荷性が区分 As と判定された橋梁の竣工年を付記しているが、落橋防止装置が強化された 1996 年版の道示を基準にすると、横江大橋の完成は 15 年以上前に遡り、桑鶴大橋、俵山大橋および大切畑大橋は、1996 年版の道示改定時期または直後に完成を迎えたことがわかる。これら橋梁の被害の詳細や、落橋防止システムの効果については 7. 9 で後述する。

7. 2 耐震設計基準の適合状況について

今回の調査・点検の結果、地震による損傷が確認された 83 橋について、前記の 1996 年版の道示以降の耐震設計基準との適合状況を図-7.1 に整理した。図中では、適合している橋梁を「新基準」、適合していない橋梁を「旧基準」、その他歩道橋を「歩道橋」、および基準が不明確だった橋梁を「基準不明」としている。

この結果、「歩道橋」と「基準不明」の橋梁を除くと、基準が明確になっている 56 橋（42+14 橋）のうち「旧基準」が 14 橋あり、25%の橋梁が 1996 年版の道示以降の耐震基準を満たしていない結果となっている。また、「新基準」が 51%と多くなっているが、この原因は、割合を算定している分母数が「旧基準」に比べて 3 倍も多いことや、この 83 橋の中には支承サイドブロックおよび変位制限装置の損傷も含まれていることから、「新基準」に適合した落橋防止システムが十全に機能したものと考えられる。

区分	橋梁数	割合
新基準	42	51%
旧基準	14	17%
歩道橋	15	18%
基準不明	12	14%
合計	83	100%

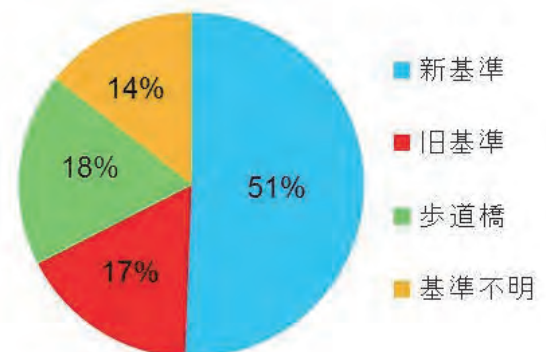


図-7.1 耐震基準別の割合（地震により損傷を受けた 83 橋における割合）

7. 3 落橋防止システムの損傷について

調査橋梁 478 橋について、落橋防止システムの損傷数を部位別にまとめたものを表-7.2 に示す。なお、本表では落橋防止システムを構成する要素を、支承サイドブロック、変位制限構造、制振ダンパー、および落橋防止構造としている。また、今回の調査・点検では「○（健全）」と「×（損傷）」の他、健全でも作用痕が認められたものは「△（健全、作用痕あり）」として整理した。

表-7.2 落橋防止システムの部位別損傷一覧表

単位: 橋梁数

落橋防止システム 全数	支承 サイドブロック	変位制限 構造	制振ダンパー	落橋防止 構造	その他
○(健全)	233	75	11	222	11
△(健全、作用痕あり)	23	5	0	8	1
×(損傷)	12	5	1	4	1
ー(確認できず,対象なし)	210	393	466	244	465
合計	478	478	478	478	478

この結果、調査では目視により損傷の有無を確認できなかった橋梁もあるものの、全体的には落橋防止システムの損傷はごく少数に留まっていることがわかる。また、「△」と「×」の多くは支承のサイドブロックであることや、変位制限構造以降の落橋防止システムは支承の損傷を受けてから機能を発揮することを勘案すると、今回の地震では、大部分の橋梁が支承の性能のみで地震力に抵抗したと考えられる。

次に、落橋防止システムの部位別の損傷について着目するが、旧基準の落橋防止システムについては前記のとおり確認数が少ないため、今回は主に地震により損傷を受けた 83 橋から、1996 年版の道示以降の耐震設計基準に適合した橋梁を対象とし、部位別に設置を確認できなかったもの、または対象外のものは除いて記述する。

7. 4 支承サイドブロックの損傷について

支承のサイドブロック（ジョイントプロテクター含む）については、設置されていた 34 橋のうち 9 橋の損傷を確認し、損傷割合が 26%と他の落橋防止システムに比べて高い結果となっている（図-7.2）。これは、レベル 2 地震動を受けた際に設計上損傷するサイドブロック（ジョイントプロテクターのロックオフ機能）を含む数であり、レベル 2 を超える地震動を受けて損傷した割合はこれより低いものと考えられる。落橋防止システムは、支承の損傷を受けて初めて機能を発揮するため、今回の地震では、対象橋梁中 74%（50+24%）の橋梁が支承の性能で地震力に抵抗し、落橋防止システムが機能するまでに至らなかったことになる。

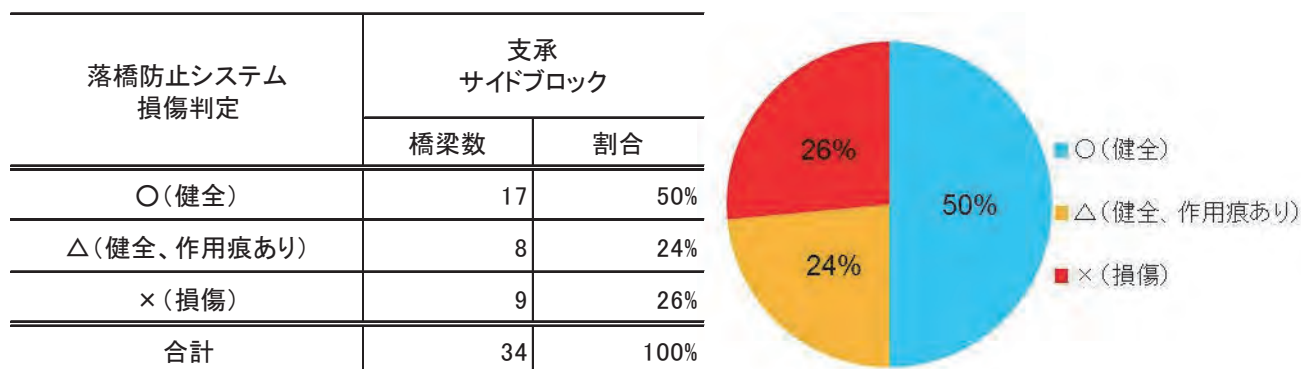


図-7.2 支承サイドブロックの損傷割合

（地震により損傷を受けた 83 橋のうち、新基準に適合した橋梁における割合）



写真-7.1 A2 橋台主桁脱落とゴム支承セットボルトの破断（俵山大橋）

ただし、俵山大橋の A2 橋台では支承から主桁が脱落したが、写真-7.1 のように、ゴム支承本体やサイドブロックは健全なまま固定ボルトが先に破断しており、このような損傷が発生したメカニズムについて、調査・検討を要する事例も確認された。

7. 5 変位制限構造の損傷について

変位制限構造についても部位別で見ると、損傷の割合は他の部位と比較して 26%と支承サイドブロックの損傷とともに高い割合となっており、設置されていた 19 橋のうち、5 橋の損傷、および 4 橋の地震による作用痕を確認した（図-7.3）。また、今回の震災では写真-7.2 のように、比較的下部工付きのコンクリートブロックの破損が多く見受けられた。

落橋防止システム 損傷判定	変位制限構造	
	橋梁数	割合
○（健全）	10	53%
△（健全、作用痕あり）	4	21%
×（損傷）	5	26%
合計	19	100%

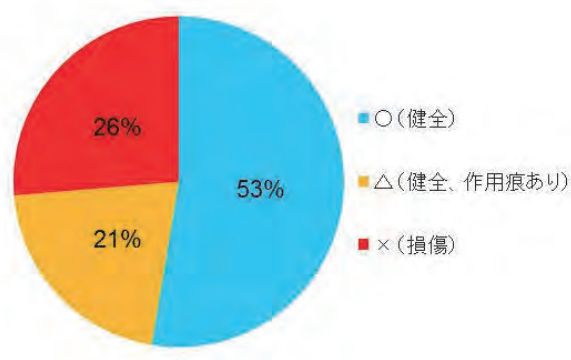


図-7.3 変位制限構造の損傷割合

（地震により損傷を受けた 83 橋のうち、新基準に適合した橋梁における割合）



写真-7.2 サイドブロックと変位制限コンクリートの破損（扇の坂橋）

7. 6 制振ダンパーの損傷について

制振ダンパーについては、調査対象橋梁のうち 4 橋に設置されていたが（図-7.4）、そのうち南阿蘇橋の A2 橋台でダンパー定着部の破損を確認した（写真-7.3）。この損傷原因については、今後の詳細調査や分析の結果を待つこととなるが、制振ダンパーの定着部は橋軸直角方向の変位制限構造を兼ねていたと考えられ、仮に変位制限装置の破壊が先行したとすれば、制振ダンパーの機能が必要となる段階に至る前に、その機能を喪失してしまった可能性がある。

なお、A1 橋台はダンパー定着部のコンクリートにひび割れは生じたものの破損はしておらず、また写真-7.4 のとおり、支承には設計移動量の範囲内の、橋軸方向への移動痕を確認できたことから、A1 橋

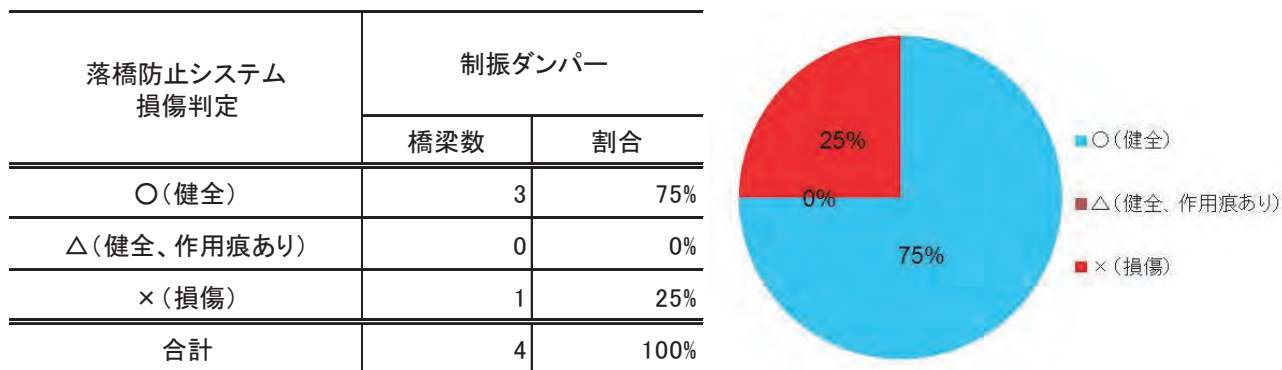


図-7.4 制振ダンパーの損傷割合

（地震により損傷を受けた 83 橋のうち、新基準に適合した橋梁における割合）



写真-7.3 A2 橋台の制振ダンパー定着部の破損（南阿蘇橋）



写真-7.4 A1 橋台支承の橋軸方向への移動痕（南阿蘇橋）

台においては制振ダンパーが機能したものと考えられる。南阿蘇橋の架橋位置が布田川断層帯や、斜面崩落により落橋した阿蘇大橋に近いにもかかわらず落橋しなかったことを勘案すると、A2 橋台で破損はしたものの落橋防止システム全体で見れば、一定の設置効果はあったと考えられる。

7. 7 落橋防止構造の損傷について

落橋防止構造については、設置されていた 36 橋のうち 3 橋の損傷を確認した。写真-7.5 のとおり、大切畑大橋では PC ケーブルタイプの落橋防止構造の破断を確認したが、これは設計時に想定した引張によるものではなく、主桁や橋台が橋軸直角方向に大きく移動したことにより、PC ケーブルがこの移動に追随しきれずに主桁腹板と接触し、せん断が作用して破断に至ったと考えられる。また、俵山大橋でも同様に主桁が橋軸直角方向に移動して、PC ケーブルが主桁腹板や端横桁の貫通孔と接触したが、破断には至らなかった（写真-7.6）。このように、設計時には想定していない事象により PC ケーブルの破断が生じているが、結果的に橋軸直角方向の移動に対しても、PC ケーブルにより落橋を防止できたことが考えられる。

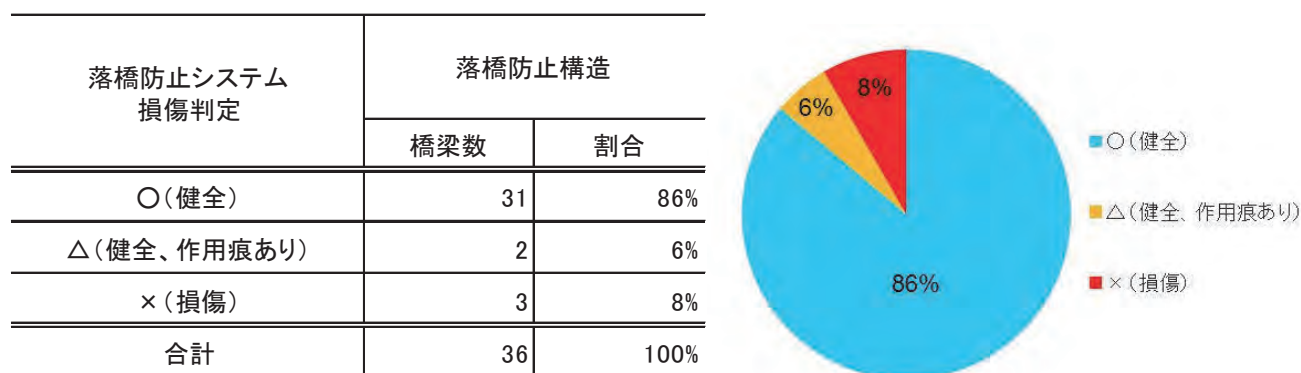


図-7.5 落橋防止構造の損傷割合

(地震により損傷を受けた 83 橋のうち、新基準に適合した橋梁における割合)

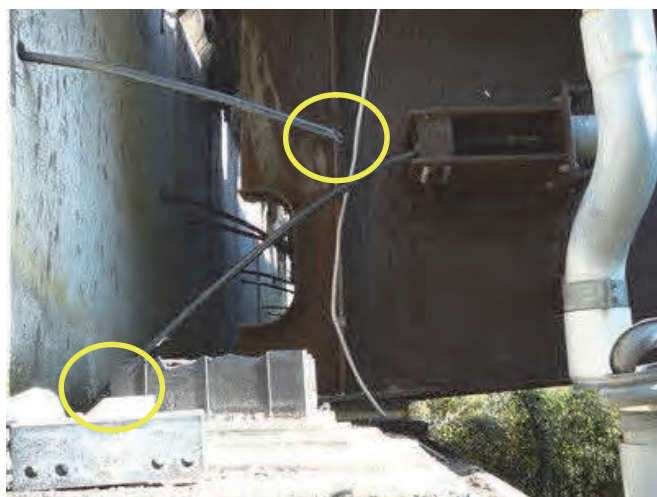


写真-7.5 PC ケーブルの破損（大切畑大橋）



写真-7.6 俵山大橋の状況

7. 8 新旧基準の落橋防止構造の混在による損傷について

その他の事例として、橋台パラペットと主桁を連結した旧基準の落橋防止構造が原因で、支承が損傷する前段階にもかかわらず主桁に変形を及ぼした事例や（写真-7.7）、古い耐震基準の落橋防止が存置してあることにより、上記のような主桁の損傷の発生、あるいは新たに設置した落橋防止構造が性能を発揮できないおそれのある橋梁も見受けられた（写真-7.8）。



写真-7.7 旧基準の落橋防止構造による損傷



写真-7.8 新旧基準の落橋防止構造の混在

7. 9 耐荷性 As の橋梁から見た落橋防止システムの有効性について

前記の表-7.1 のとおり、横江大橋の竣工年度は 1979 年であるが、供用後に落橋防止システムとしてピンタイプの変位制限構造と、PC ケーブルタイプの落橋防止構造が設置されている。本橋は写真-7.9 のとおり、中間橋脚が 2 m 以上も沈下して甚大な被害を受けたが、写真-7.10 のように支承の損傷を受けて変位制限構造が機能を発揮し、地震動や橋脚の沈下による桁の移動に抵抗できたものと考えられる。



写真-7.9 P3 橋脚が 2.25m 沈下した状況（横江大橋）



写真-7.10 支承セットボルトの脱落と変位制限構造の損傷（横江大橋）

桑鶴大橋は 1997 年度に竣工した斜張橋であり、1996 年版の道示以降の供用となるが、設計・施工の期間を考えると改定後の耐震基準の適用が間に合わなかったと思われ、供用後に落橋防止システムを設置したと推測される。

写真-7.11 のとおり、A1 橋台部では支承損傷後に旧基準の落橋防止構造が作動したことがわかる。また、P1 橋脚部では支承損傷後にピンタイプの変位制限構造が作動したが、橋軸直角方向の地震動に抵抗しきれずにピンが破断し、桁が約 1 m 移動して鋼製ブラケット上に乗り上げていることがわかる。

A2 橋台部では、写真-7.12 のとおり支承が破損し、P1 橋脚部と同様に桁が橋軸直角方向に大きく移動している。この橋台部には橋軸直角方向の変位制限構造が設置されており、片側の下部工付きコンクリートブロックが破損しているが、もう片方は損傷を受けておらず、桁は支承高よりも高いコンクリートブロックに乗り上げている。このことから、主塔からのケーブルを介して支承部には上揚力が作用して破損に至り、桁がコンクリートブロックの高さ以上に大きく持ち上げられ、変位制限構造が作動することなくコンクリートブロックに乗り上げたものと推測される。このように、斜張橋等の吊形式橋梁においては、上揚力により落橋防止システムが機能を果たさない危険性があることが確認された。

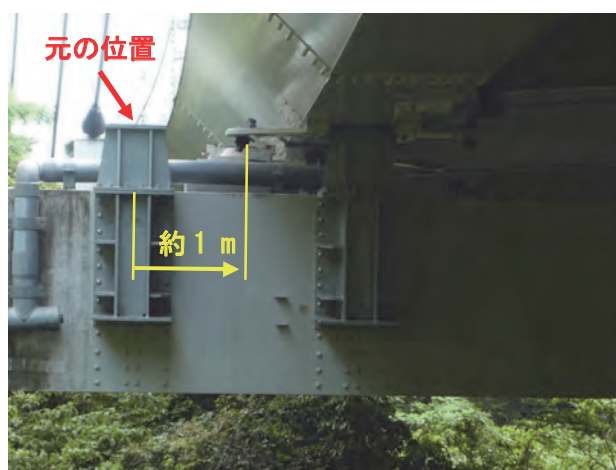
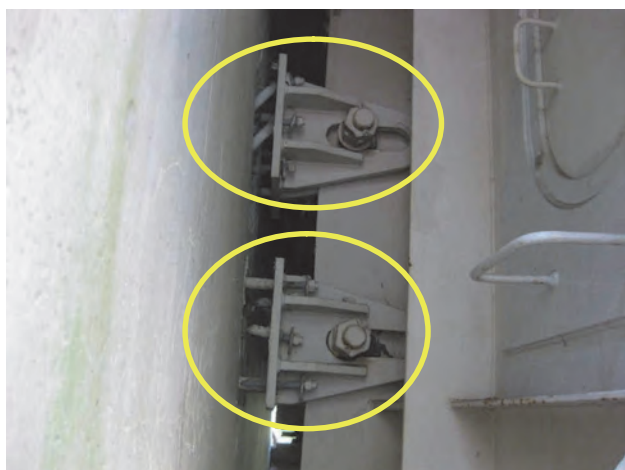


写真-7.11 落橋防止構造（A1 橋台部）の損傷と変位制限構造（P1 橋脚部）の破断（桑鶴大橋）



写真-7.12 支承の損傷（主桁脱落）と新基準の変位制限構造の破損（桑鶴大橋、A2 橋台部）

俵山大橋と大切畑大橋については、竣工年から 1996 年版の道示が適用されていると思われ、積層ゴム支承と PC ケーブルタイプの落橋防止構造が設置されている。写真-7.1, 写真-7.13 のとおり、両橋ともに積層ゴム支承が破断し、桁が橋軸直角方向に脱落しているが、前記のとおり落橋防止構造によって落橋を防いでいる。ただし、大切畑大橋においては PC ケーブルが破断し、本来の橋軸方向の落橋防止構造としての機能を喪失している。本橋のように、設計で対象とする方向以外への桁の移動に対して落橋防止構造が追随できず損傷した場合、特に本震後においても余震が続く状況下においては、落橋の危険性が増大することが明確になった。



写真-7.13 A2 橋台ゴム支承の破断と落橋防止ケーブル（大切畑大橋）



写真-7.14 A1 橋台パラペットと横桁ケーブル貫通孔の落橋防止ケーブル切断痕（大切畑大橋）
（大切畑大橋はパラペット貫通孔にトランペットシースを使用していない）



写真-7.15 A1 橋台ゴム支承の変形と主桁腹板等の座屈（俵山大橋）

また、俵山大橋では橋台の支間方向への移動が起因と見られるゴム支承の変形や、主桁腹板、下フランジ、および横構の座屈が確認された（写真-7.15）。

今回の調査・点検した 478 橋のうち、耐荷性の判定区分 As の橋梁は 5 橋を数えるが、これらは上部工が支承から脱落したものを示す判定であり、上部工が下部工から「落橋」した橋梁は、調査した橋梁の中では 1 橋も存在しない。また、国交省の「第 5 回道路技術小委員会配布資料」の記述によると、斜面崩壊等によるものを除いて落橋した橋梁は、ロッキングピアという特殊な構造の橋脚を有する、九州自動車道の跨道橋である PC 橋の府領第一橋と、平田・小柳線に架橋された田中橋の 2 橋のみであり、鋼橋で落橋した橋梁については 1 橋も確認されていない。したがって、今回の点検調査結果を踏まえれば、落橋防止システムの設置効果はあったことが確認できた。ただし、設計時には想定していなかった事象により、本来果たすべき落橋防止構造の機能を喪失した事例や、速やかな橋梁の機能回復を阻害する損傷を招いた事例も確認されたことから、現状の落橋防止システムの構造詳細については再考させられる調査結果でもあった。

7. 10 落橋防止システムの今後の課題について

まず、今回の調査・点検の結果、地震により損傷を受けた 83 橋のうち、25%もの橋梁が 1996 年版の道示以降の耐震設計基準を満たしていないことが明らかになった。東北地方太平洋沖地震においても、現行の基準による耐震補強の効果が顕著に現れたことから²⁾、下部工の耐震補強はもちろんのこと、新基準の落橋防止システムの早期設置が望まれる。

同じく東北地方太平洋沖地震では、破断した支承のサイドブロックが桁下に落下する事象が多く発生し問題となったが、今回の熊本地震においても下部工天端から落下する事例があった（写真-7.16）。特に、サイドブロックにジョイントプロテクターとしての機能を持たせた橋梁は多く存在するが、ジョイントプロテクターはレベル 1 地震動までの耐力しかないので、特に市街地に架橋されている橋梁では、第三者被害防止の観点から、サイドブロックには落下防止チェーンの設置等の対策を行うことが望ましい（写真-7.17）。



写真-7.16 サイドブロックの落下（田浦高架橋）



写真-7.17 落下防止チェーン（大切畑大橋）

また、ゴム支承のせん断変形によって、主桁下フランジの変形や垂直補剛材の座屈が確認された事例があった（写真-7.18）。損傷は局所的ではあるが、耐震設計上は塑性化が生じるべき部位ではなく、橋脚基部に主たる塑性化を生じさせるためには、上部工には損傷が生じないように、ゴム支承取付箇所の構造を検討する必要がある。



写真-7.18 支承の変形と垂直補剛材の座屈（扇の坂橋）

南阿蘇橋で損傷した制振ダンパーの定着部については、橋軸直角方向の変位制限構造としても兼用していたと考えられる。定着部の損傷理由については現状では解明されていないが、損傷後の余震を考慮すれば、現行の道示に準じて制振装置と支承・変位制限構造の機能を1つの構造で兼用させることは望ましくない。

斜張橋である桑鶴大橋では、地震動に伴うケーブルからの上揚力により桁が下部工付きコンクリートブロックに乗り上げ、橋軸直角方向の変位制限構造が作動せずに桁が大きく横移動した。斜張橋等の吊形式橋梁や上揚力の発生が想定される橋梁においては、桁と下部工とを鉛直方向に連結する等の上揚力対策を検討する必要がある。

PC ケーブルタイプの落橋防止構造については、支承が損傷・破損した後に橋軸直角方向へ主桁が移動し、主桁腹板や端横桁の貫通孔等に接触してケーブルが破断した事例を確認した。本来の橋軸方向の落橋防止構造としての機能を喪失しないためにも、端横桁貫通部に偏向具を設置することや(写真-7.19)、PC ケーブルや干渉チェーン等の落橋防止構造との干渉物が存在しない、主桁下フランジの下面に設置する(写真-7.21、左側)等の構造的な工夫を講じることが望ましい。また、今回の熊本地震では、主桁が橋軸直角方向に大きく移動して下部工に落下し、速やかな橋梁の機能回復を阻害することが問題となっている。写真-7.20 のように段差防止構造を設置する、あるいは横変位拘束構造の設計荷重の見直し等についても検討の余地があると考えられる。



写真-7.19 端横桁の偏向具（新阿蘇口大橋）



写真-7.20 段差防止構造の設置（小島橋）

新基準の落橋防止システムを設置した橋梁に旧基準の落橋防止が残され、結果的に旧基準の落橋防止構造が原因で主桁等の主構造に損傷を生じさせている事例が確認された。旧基準のものに変位制限構造等の機能を期待しない場合は、新基準の落橋防止システムを設置した後は、写真-7.21 のように旧基準の落橋防止構造は撤去するべきか検討する必要がある。



写真-7.21 旧基準の落橋防止撤去事例（小ヶ瀬橋）

1995 年の兵庫県南部地震以降の耐震基準の見直しは、東北地方太平洋沖地震や今回の熊本地震の調査結果から、一定の効果があることを確認できた。しかし、今後は落橋の防止は当然として、より主部材の損傷が少なく、早期の復旧が可能となる落橋防止システムの構築が望まれる。

〈参考文献〉

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編に関する参考資料（平成 27 年 3 月）
「表-参 1.1 関東地震以後の耐震設計に関する諸規定の変遷」を参考に作成
- 2) （一社）日本橋梁建設協会 東日本大震災橋梁被害調査報告書 2011. 12

8 熊本地震の教訓

今回調査した 478 橋のうち、落橋した鋼橋は 1 橋も存在しなかったが、耐荷性能の判定が A s の橋梁が集中した県道熊本高森線の 3 橋(桑鶴大橋、大切畑大橋、俵山大橋)は、上部工の支承からの脱落により路面との段差及びずれが発生したことで、早期の復旧が困難となり緊急輸送等の大きな支障となった¹⁾。現行の耐震設計基準の「地震による損傷が限定的で機能の回復が速やかに行い得る(耐震性能 2)」を満足することができなかったことは、今後発生が予想される東海・東南海・南海地震、首都直下型地震などの大地震への備えに資する教訓が含まれているものとする。以下に耐震性能からみた被害の特徴を挙げ、落橋防止システムや支承部の構造および作用力など耐震設計の再検討の必要性を示す。

8. 1 耐震補強の有効性

これまでの震災による落橋等のような甚大な被害に至った橋の被災形態として、

①橋脚の倒壊や傾斜に伴う落橋

②支承部が破壊した後に上部構造に大きな変形が生じて落橋

が挙げられるが、今回調査では支承部が破壊された橋梁はあったが、致命的な落橋には至っておらず、兵庫県南部地震以降の耐震設計基準の改定及び耐震補強実施の効果が発揮された。明確な事例として、**写真-8.1** は耐震補強された橋梁で損傷は限定的なものとなっているが、**写真-8.2** は耐震補強未実施の場合に、橋脚基部の段落とし部に損傷がみられた。

調査橋梁の耐震設計基準の適合状況を整理した結果では、旧耐震基準の橋梁が 89 橋、耐震基準の不明確な橋梁が 140 橋と調査橋梁の約 48%にのぼっていることから、今後は、港湾や空港へのアクセス道路、緊急輸送道路等の重要度の高い橋梁について、耐震補強を進めていく必要があるものとする。



写真-8.1 耐震補強実施(損傷は限定的)¹⁾



写真-8.2 耐震補強未実施(段落し部の損傷)¹⁾

8. 2 耐震性能の有効性

今回の調査では、主構造が支承から脱落して倒壊や半倒壊の橋梁はあったものの落橋に至った橋梁はなかった。これは、支承破壊後の変位を PC ケーブルや横変位拘束構造等が損傷しながらも抑えたことによると思われ、落橋防止システムを含む耐震補強の効果が確実に発揮されたと考える。但し、その中には、設計で想定している機能とは異なる挙動を示した事象があったので、以下に列挙する。

①PC ケーブルの破断(大切畑大橋)

- ・橋軸直角方向の地震力と下部工の移動による積層ゴム支承の破断により上部工が約 1m の横ずれを生じた。横ずれに対して落橋防止装置の PC ケーブルが機能したことで落橋は免れたが、A1 橋台全てのケーブルが破断しており、その後の余震等による橋軸方向の移動に対する落橋防止装置としての機能は失われていた。



写真-8.3 A1 橋台落橋防止ケーブル切断と横桁ケーブル貫通孔の切断痕（大切畑大橋）

②積層ゴム支承の取付ボルトの破断(俵山大橋)

- ・積層ゴム支承及びサイドブロックが機能する前にゴム本体と上下部構造と連結するセットボルトが破断した。サイドブロックの破壊後にゴム本体の変形で抵抗する機構に至らなかった。



写真-8.4 A2 橋台ゴム支承セットボルトの破断（俵山大橋）

③上揚力の発生（桑鶴大橋）

- ・斜張橋の桑鶴大橋では、端支点に上揚力が発生し、横変位拘束構造の上端に衝突して乗り上げ、大きく横移動した。



写真-8.5 ケーブルのたるみと A2 橋台（桑鶴大橋）

④積層ゴム支承の残留変位(扇の坂橋)

- ・サイドブロック破壊後に積層ゴム支承の過大な変位により伸縮装置に横移動が生じ、元の位置に戻らないままの状態でごム本体に残留変形が残った。



写真-8.6 A2 橋台伸縮装置とゴム支承の残留変形（扇の坂橋）

⑤ダンパー取付部の損傷(南阿蘇橋)

- ・制振ダンパー取付部のコンクリートブロックが損傷した。このコンクリートブロックは、横変位拘束構造と兼用されていた。



写真-8.7 A2 橋台の制振ダンパー定着部の破損（南阿蘇橋）

⑥新旧耐震基準の落橋防止構造の混在(大正橋、阿蘇口大橋等)

- ・旧耐震基準の落橋防止構造が、主桁の移動を拘束して主桁に変形を及ぼした。



写真-8.8 主桁の損傷（大正橋）



写真-8.9 主桁の損傷（阿蘇口大橋）

前記のように一部の橋梁で、設計で想定した落橋防止システムおよび支承部の機能が発揮されず、支承部の破壊後に橋軸直角方向への横移動で大きな段差や上部構造と下部構造のずれが生じたことから、速やかな機能回復を困難にした。これらの事象を教訓として、早期の復旧が可能となる落橋防止システムおよび支承部の設計方法及び構造詳細を再検討する余地があると考えられる。また、上記の損傷の特徴として橋軸直角方向の移動が挙げられ、落橋防止システムにおいては、5章に記述したように断層帯と橋梁の方向性も考慮する設計手法の検討も必要と感じた。

8. 3 その他

調査橋梁の対象外の中には、九州自動車道を跨ぐ府領第一橋の落橋(写真-8.10)があった。本橋は、ロッキング橋脚を有する橋梁で、橋脚の上下端をピボット支承で支えたヒンジ構造となっており、単独では自立ができず、また上部構造からの水平力を支持できない。そのため、上部構造の水平変位により不安定な状態となり落橋した。ロッキング橋脚を有する橋梁は、高速道路の跨道橋で採用されている形式の一つであり、落橋時は緊急輸送道路としての機能を果たせない状況になることから、早期の耐震補強対策が望まれる。また、熊本地震では、地盤変状による被害も多く見られた。南阿蘇村地域における大規模な斜面崩壊による橋梁被害(写真-8.11)や、橋脚・橋台部の沈下や水平移動の影響による部材の座屈やボルトの破断等の被害が発生したことから、地盤変状が構造物に与える影響も課題として挙げられる。



写真-8.10 府領第一橋の落橋¹⁾



写真-8.11 阿蘇大橋付近の斜面崩壊²⁾

〈参考文献〉

- 1) 社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会資料 2016.6.24
- 2) 国総研ニューズレター No. 57(2016) 追記して作成

9 今後の地震対策に向けて

熊本地震を起こした布田川・日奈久断層帯は、右横ずれを伴う正断層であった。日本には約 2,000 の活断層があると推定されており、今後の東海・東南海・南海地震、首都直下型地震などとともに各地で大地震の発生が懸念されることから、対策を検討する必要がある。

9. 1 維持管理への配慮

東日本大震災時と同様ではあるが、上路桁や連続桁の中間支点部など直接目視することができない箇所も多くあったことから、点検通路（検査路）の設置や、点検ルートを明確にしておくなど、維持管理への配慮が必要である。

また、損傷橋梁 83 橋のうち、走行安定性として規制を伴う損傷が 4 割を占めていたことから、早期復旧・復興に際しては上部工の仮受けが必要となる場合が多いため、維持管理とともに地震対策としても建設時からの仮受け位置を考慮した設計を行うことが望ましい。

落橋防止システムが有効に作用したかを調査するに際しては、例えば、支承のサイドブロックがどのレベルまで持てばよい設計なのかを把握しなければ、その損傷の有効性は判断できない場合がある。また、耐震補強に際して設置された装置が、変位制限なのか落橋防止装置かを見ただけでは判断できないこともある。そのため、落橋防止システムの調査・点検に際しては、適用基準年度や設計手法を明確にするため、橋梁に明示するなどの手法をとるのも一案である。

ここで、本調査に際して結果報告としては触れていないが、腐食による損傷もいくつか見受けられた。伸縮装置非排水構造の機能低下による漏水などにより腐食しやすい桁端部は、落橋防止システムが多く設置されている箇所でもあり、耐震性能の機能を維持するためにも、定期的な点検、維持補修は重要であるといえる。

9. 2 早期復旧のための改善提案

今回の熊本地震において、鋼橋の落橋はなかったものの損傷した橋梁 83 橋のうち通行規制を伴う損傷が全体の 4 割を占めており、また、耐荷性の判定において As、A の損傷が 1 割強あったことを考慮すると早期復旧を視野に入れた対策を検討する必要がある。ここでは、落橋防止システムを含めた調査・点検に際していくつか気付いた点について提案する。

（１）旧基準の落橋防止装置の撤去

耐震補強に際して、橋台と主桁を連結した旧基準のメガネタイプの落橋防止装置が原因で主桁に変形を及ぼした事例があることから、耐震補強の際に旧基準の落橋防止装置を存置する場合は、安全性の検討が必要である。

（２）段差防止装置の設置

前段でも記述しているが、走行安定性を考慮した場合、通行止めを回避するための手段としては段差防止装置の設置は有効であるといえる。

（３）伸縮装置の構造

現在、伸縮装置はレベル 1 地震動にて設計されていることが多く、今回のような大地震が発生した場合には損傷を免れないが、その後の早期復旧を考慮すると段差が生じにくい構造や復旧しやすい構造とすることが望まれる。

（４）落橋防止装置の干渉物への配慮

今回の熊本地震では、横ずれ断層による橋軸直角方向の予想外のずれにより、支承の脱落などの損傷

が見られた。落橋防止装置が有効に作用した結果、落橋は免れているが、想定外の移動量であったため端横桁の貫通孔材などとの干渉により落橋防止ケーブルが破断している事例も見られた。どの程度の移動量を確保する必要があるかは今後の課題であるが、想定外の移動が生じた場合でも干渉が生じないような配慮が必要といえる。たとえば、干渉物の生じない主桁下フランジ下面に PC ケーブルを設置するなど構造的な工夫を行うことも一案である。

また、制振ダンパーの定着部と変位制限装置など、機能を兼ねた構造では、どちらかが破損すると一方の機能が失われる可能性もあることから、スペース的な制約もあるが、できるだけ機能は分離した構造としたほうがよい。

(5) 代替道路の計画

熊本地震においては、被災した国道 443 号を応急復旧により 1 週間で開通でき、また、高速道路についても 5 月の大型連休後には、緊急車両が通行可能となった。ただ、主要道路は復旧できたものの未だ通行止めや交通規制された道路もあることを考慮すると、早期復旧も重要であるが、代替え道路を考慮した道路網の整備なども必要といえる。

そのひとつとして、図-9.1 に示すような現在計画中である九州横断自動車道延岡線や南九州西回り自動車道を始め、島原・天草・長島架橋構想などの早期実現も有効ではないだろうか。



図-9.1 島原・天草・長島架橋構想¹⁾

（６）断層帯や地殻変動が予想される橋梁への配慮

５．２で断層帯や地殻変動の方向と損傷橋梁との相関性について記述しているが、断層帯近傍で地殻変動した地域などでは、大きな横方向移動や上揚力が発生している。また、積層ゴムの片効きによる支点上補剛材の局部座屈等も見られた。そのため、断層帯近傍で地殻変動が予想される地域においては、荷重の見直しの必要性も視野に、全ての支点到横変位拘束構造を設置するなどの橋軸直角方向の移動への配慮や上揚力に対する積層ゴムの確実な固定を行うことが望ましい。

また、支承まわりの補強リブについては、主桁下フランジ周辺だけではなく十分な高さを確保し片効きでも耐えられるよう強固なものとしたほうがよい。

＜参考文献＞

- 1) 島原・天草・長島架橋建設促進協議会 島原・天草・長島架橋九州西岸軸構想プロジェクト HP より

10. おわりに

平成 28 年 9 月 28 日に本調査報告書の最終確認のために、国土交通省 九州地方整備局のご協力により、調査時点で通行止めとなっていた県道 28 号に位置する損傷橋梁の現場調査を行いました。

現地では本震から半年近く経過した現在でも、長引く雨による土砂災害や想像以上の被害状況によって、思ったように進捗しない復興状況を感じ取れました。また、その復興を妨げる一因となっているのが、県道を分断し、早期の復旧が難しい損傷した橋梁でした。



写真-10.1 被災地の道路状況



写真-10.2 大切畑大橋付近の斜面崩落と民家の被害状況



写真-10.3 現場調査状況（船井総括災害対策官と本 WG メンバー）

兵庫県南部地震における橋梁の被害を思えば、今回の熊本地震では確実に橋梁被害を減少させることができたと言えます。しかし、速やかな機能回復や復旧が困難な状況を見ると、現状での落橋防止システムの問題点や改良点に気づかされたように思います。橋梁に携わる技術者として、災害による橋梁被害を今後さらに減少させることが責務であるという事を深く感じさせる現場調査となりました。

本報告書の最終確認、現場調査を行うにあたり、九州地方整備局 熊本地震災害対策推進室の船井総括事業対策官をはじめ、熊本河川国道事務所の方々に業務多忙の中ご協力頂きました。この場を借りて謝辞を申し上げさせていただきます。

協会として震災の報告書をまとめたのは、「新潟中越地震被災橋梁調査報告」、「東日本大震災橋梁被害調査報告書」に続いて 3 回目となりました。中越地震の報告では写真と集計表だけであったものが、東日本大震災の報告では、損傷分布や今後の地震対策にむけた提言などを盛り込み、今回は更に落橋防止システムの有効性や機能性について特に着目し分析と提言を行いました。落橋を防ぐという落橋防止システムは機能しているものの、改良の余地があると思われるものも見えてきたように思えます。今後、発生が予想される東海・東南海・南海地震などへの参考となることを期待しています。

今回は東日本大震災で調査した橋梁数（3,507 橋）に比べて十分の一程度（478 橋）ではあるものの、調査前の点検調書の作成などの事前準備は各社苦勞したとの報告を受けています。発生してほしくはありませんが、東海・東南海・南海地震、およびその三連動の地震が発生した場合の準備の大変さは想像を絶するものがあります。どのような準備が必要かなど、協会内で引き続き議論したいと考えています。

最後に、本報告書の作成にあたり、被害調査から報告書作成までの作業に対して多大な協力をいただいた橋建協会員各社に心より御礼申し上げます。