

2017年9月24日

熊本大学知のフロンティア

熊本地震を科学する！

熊本地震による熊本城跡と 石橋の被害状況と要因分析

熊本大学大学院先端科学研究部
シニア教授 山尾敏孝

お話の内容

1. 熊本地震の特徴
2. 熊本城の被害状況
3. 石橋の被害状況
4. 地震被害の要因分析

熊本地震の震度分布

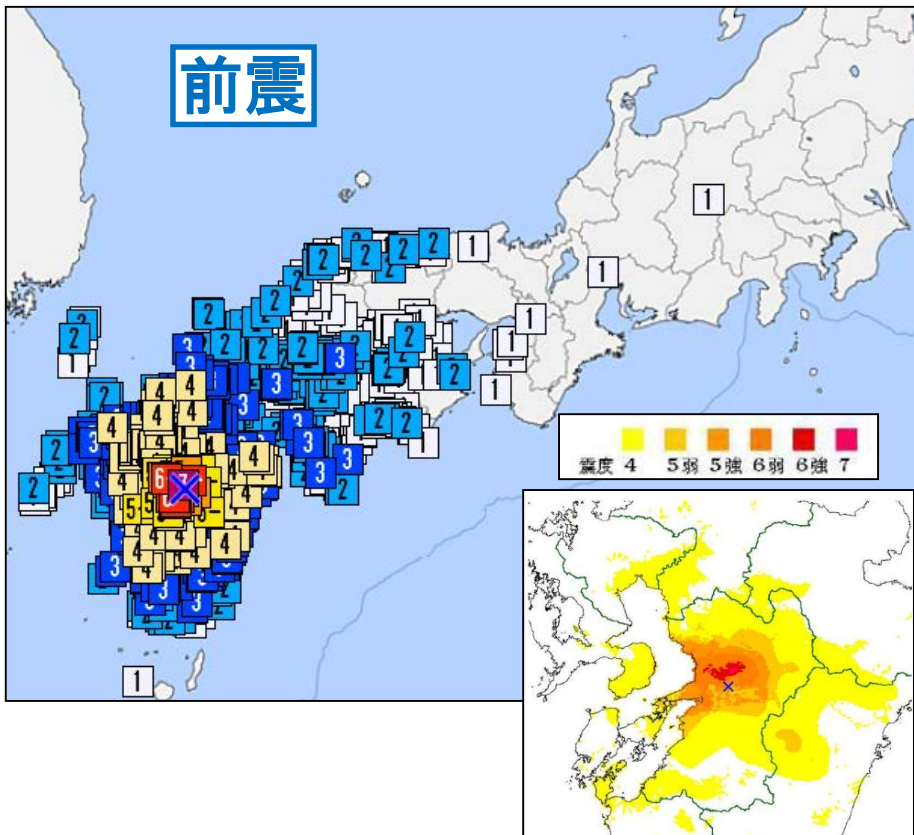


熊本県土木部

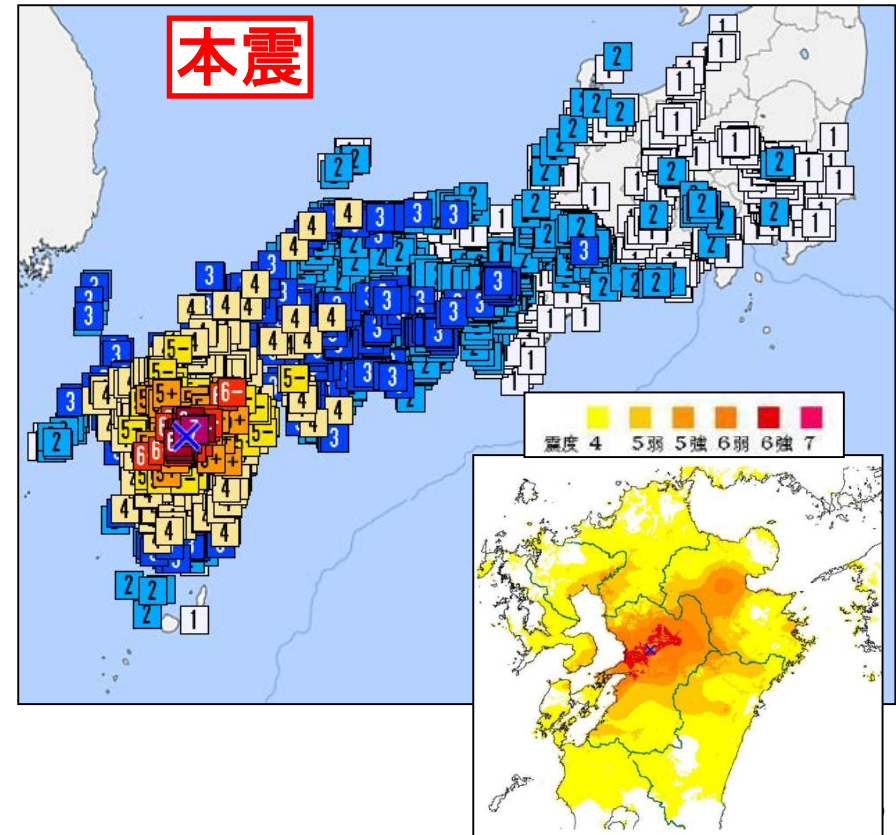
地震発生: 4月14日 21時26分
震央の位置: 熊本県熊本地方
北緯 32度44.5分
東緯 130度48.5分
深さ 11km
地震の規模 M6.5

地震発生: 4月16日 01時25分
震央の位置: 熊本県熊本地方
北緯 32度45.2分
東緯 130度45.7分
深さ 12km
地震の規模 M7.3

前震



本震



平成28年熊本地震の活動状況

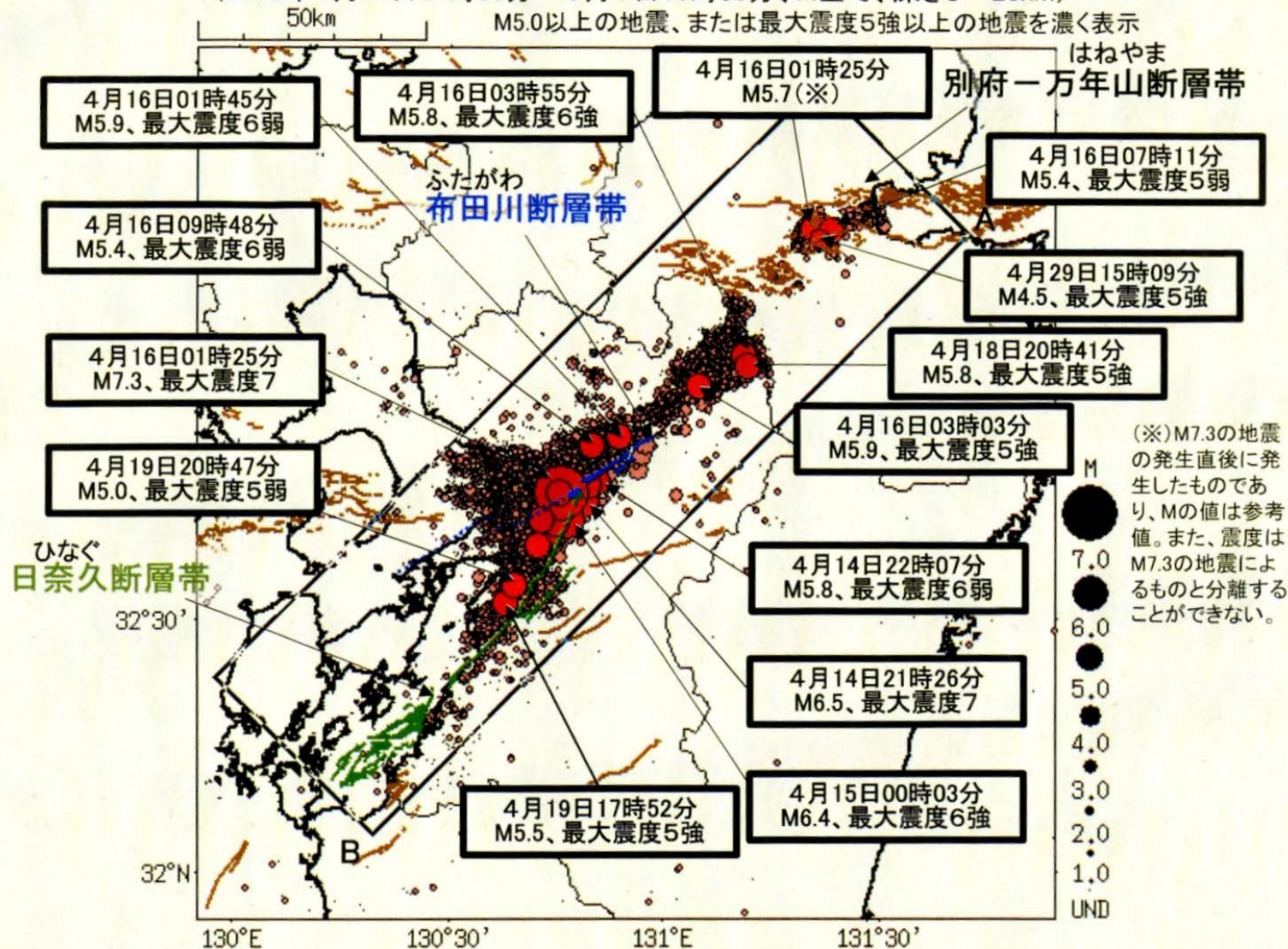
「平成28年（2016年）熊本地震」

熊本県から大分県にかけての地震活動の状況（6月1日13時30分現在）

震央分布図

(2016年4月14日21時00分～6月1日13時30分、M全て、深さ0～20km)

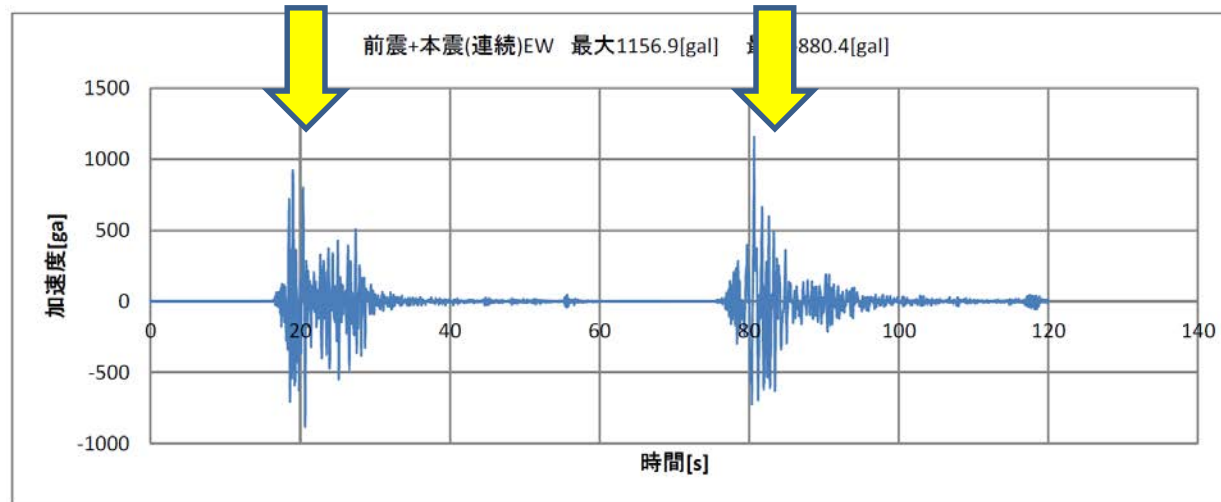
M5.0以上の地震、または最大震度5強以上の地震を濃く表示



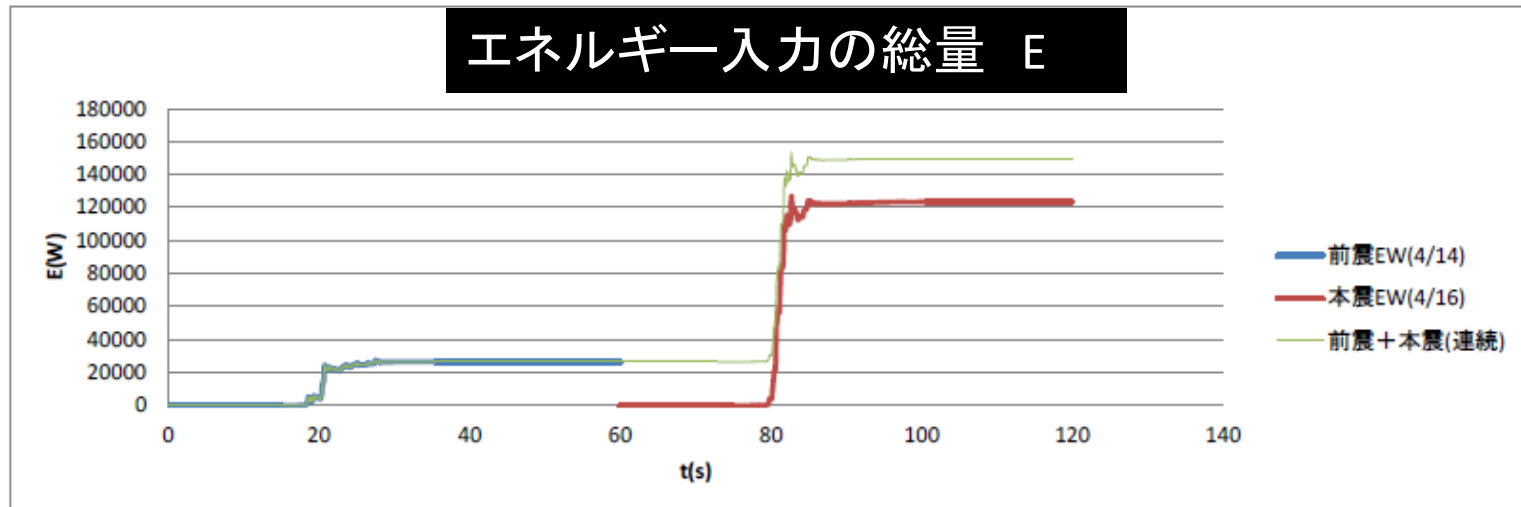
構造物に入力されたエネルギー総量 E

前震

本震

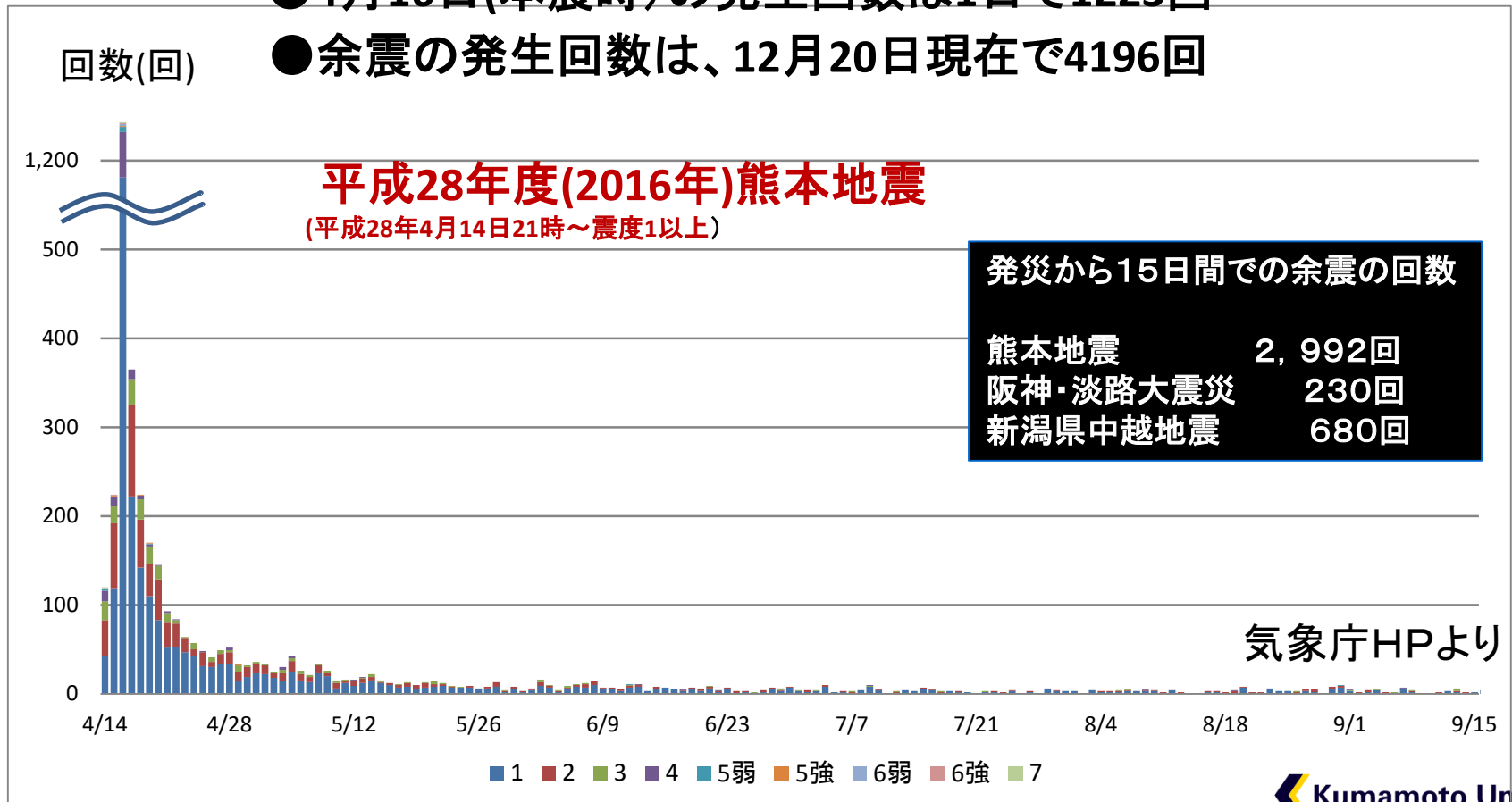

 $T=1.0\text{sec}$

エネルギー入力の総量 E



震度別地震回数

- 震度7の地震が2回発生(観測史上初)
- 震度6弱以上の地震が7回発生
- 震度5弱以上の地震が20回発生(8月31日に震度5弱)
- 4月16日(本震時)の発生回数は1日で1223回
- 余震の発生回数は、12月20日現在で4196回



地震被害概要



(1) 人的被害

人的被害は、計2, 353人

	人数
死者	98人
行方不明者	0人
重傷者	783人
軽傷者	1, 432人
分類未確定	138人
計	2, 353人

<死者の内訳>

①警察が検視により確認している死者数 **50人**

②震災後における災害による負傷の悪化又は身体的負担による疾病により死亡したと思われる死者数 **43人**※
(以後、「災害関連死」と表記)

※ 正式には市町村等に設置される審査会を経て決定

(2) 住家被害

住家被害は、163, 819棟

	被害棟数
全壊	8, 151棟
半壊	29, 072棟
一部損壊	129, 624棟
計(分類未確定を含む)	166, 868棟

想定は死者 **7 4 0 人**

(注)熊本市ほか一部市町村では、罹災証明申請件数ベースで計上されているため、複数の世帯が入居するマンションなどが重複して計上されている可能性があります。

想定は全壊 **1 5, 3 0 0 棟**
半壊 **4 2, 8 0 0 棟**

(3) 避難所及び避難者数

H28.8.31現在

最大時 (H28. 4. 17時点)

11市町村
避難所数 21カ所
避難者数 705人

38市町村
避難所数 855カ所
避難者数 183, 882人

想定は **1 5 6, 0 0 0 人**

新耐震の建物も被害

本震後 新耐震 築20年



益城町 岡元様 写真提供

防災拠点の市庁舎が被災



本震後の宇土市役所

高速道路被害

九州自動車道 益城熊本空港IC～嘉島JCT
益城バスストップ付近



[詳しくはこちら](#)

大分自動車道 湯布院IC～日出JCT
由布岳PA付近



[詳しくはこちら](#)

九州自動車道 益城熊本空港IC～嘉島JCT 木山川橋



[詳しくはこちら](#)

大分自動車道 湯布院IC～日出JCT 並柳橋



[詳しくはこちら](#)



跨道橋(府領第一橋) 落橋



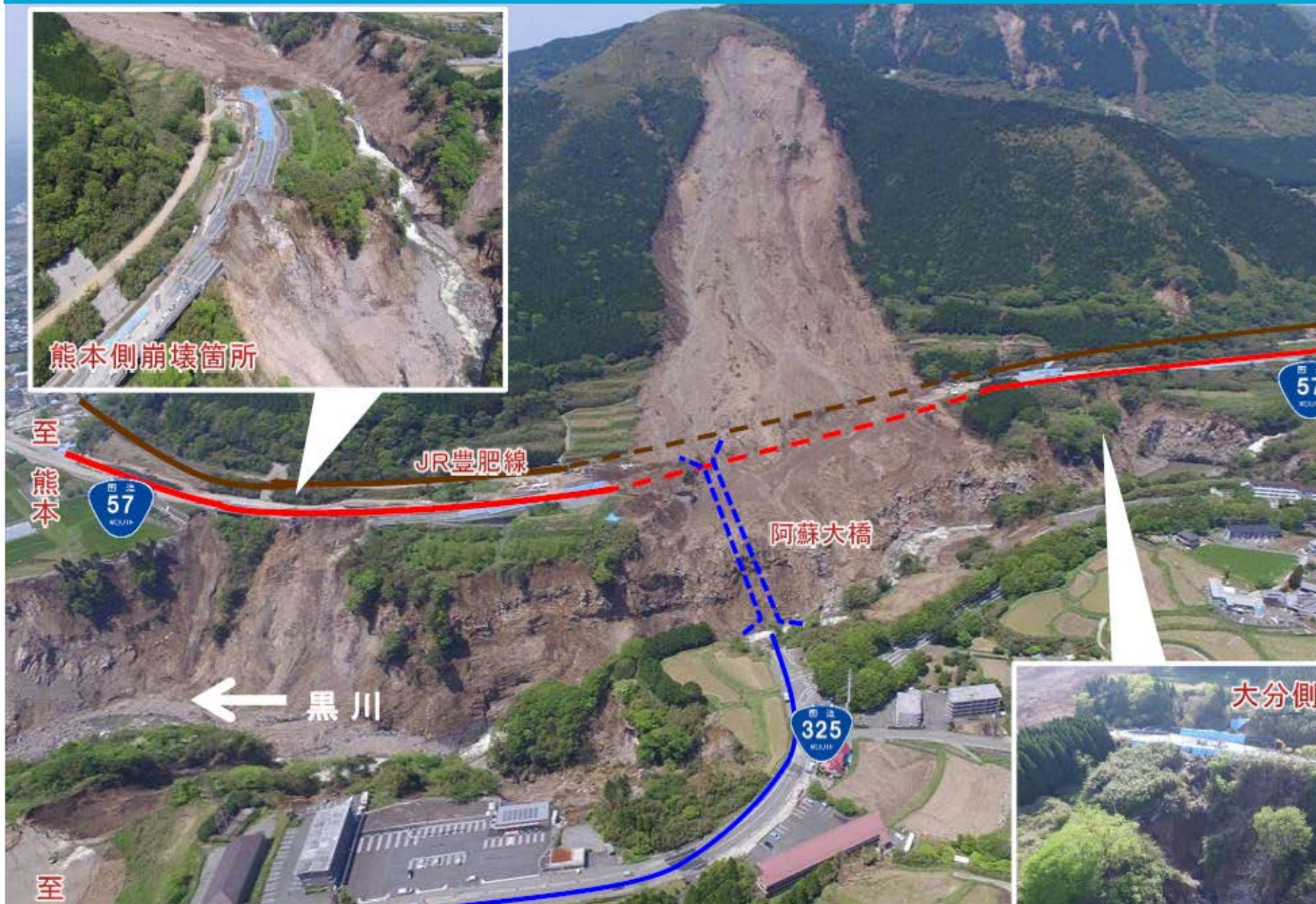
1975年供用 PC3径間連続中空床版橋 ロッキングピア
耐震補強:縁端拡幅と横変位拘束構造(A1のみ)

熊本大学 葛西昭准教授 撮影

目次



国道57号、国道325号被災状況



県道28号 熊本高森線の被災状況

大切畑大橋

扇の坂橋

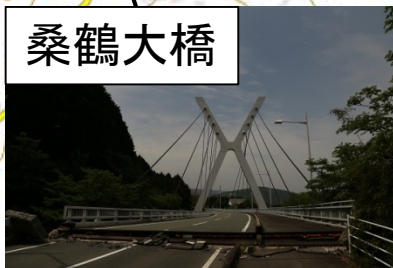
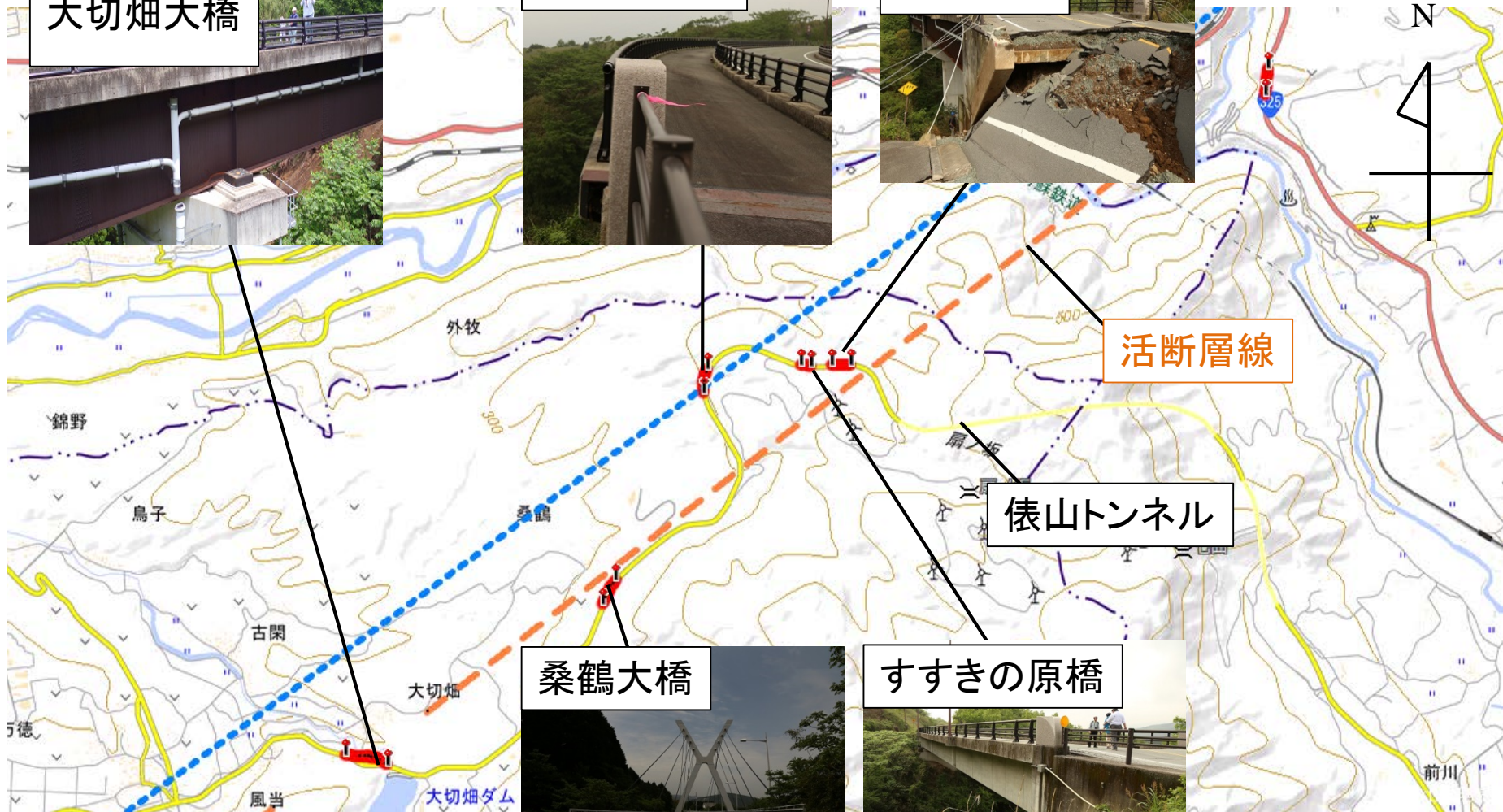
俵山大橋

活断層線

俵山トンネル

桑鶴大橋

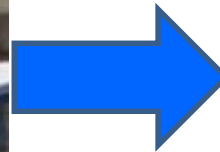
すすきの原橋





大切畑大橋

熊本市内の液状化被害



熊本市南区近見 清田様 写真提供

地震火災の発生件数は激減！

阪神・淡路大震災は293件，熊本地震は16件

- 前震時の益城町の平均風速は1.9m/s（最大2.6m/s），熊本市内の平均風速は2.5m/s（最大3.4m/s）
- 本震時の益城町の平均風速は3.1m/s（最大3.6m/s），熊本市内の平均風速は1.1m/s（最大1.7m/s）
- 炊飯の時間帯から外れ，春で暖房器具の使用の少なく，いずれも風が弱かったことが幸いした

熊本地震の地震動と被災のまとめ

- ✓ 観測史上初の震度7が連続発生。断層の横ずれで発生した内陸直下型地震
- ✓ 死者・関連死を含め237人に上った
- ✓ 中級数横断の国道57号は斜面崩壊で損傷、豊肥本線が不通、阿蘇大橋落橋、県道28号は俵山トンネルと6橋が損壊
- ✓ 熊本城をはじめ、石橋、阿蘇神社など文化財も大きな被害発生
- ✓ 地震時の発生火災が非常に少なかった

2. 熊本城の地震被害状況



地震後の熊本城

熊本城跡全体



城内

熊本城跡石垣被災箇所図（全域）

特別史跡の指定面積 約 512,000 m²

石垣総面積 約 79,000 m² (973 面)

熊本城の被災状況









- ① 石垣：崩落・膨らみ・緩み517面（うち崩落50箇所，229面） 約23,600m²（全体の約3割）
- ② 重要文化財建造物：13棟（倒壊2棟，一部倒壊3棟，他は屋根・壁破損など）
- ③ 復元建造物：20棟（倒壊5棟，他は屋根・壁破損）
- ④ 地盤：陥没，地割れ70箇所，約12,345m²
- ⑤ 利便施設・管理施設：26棟 屋根・壁破損など

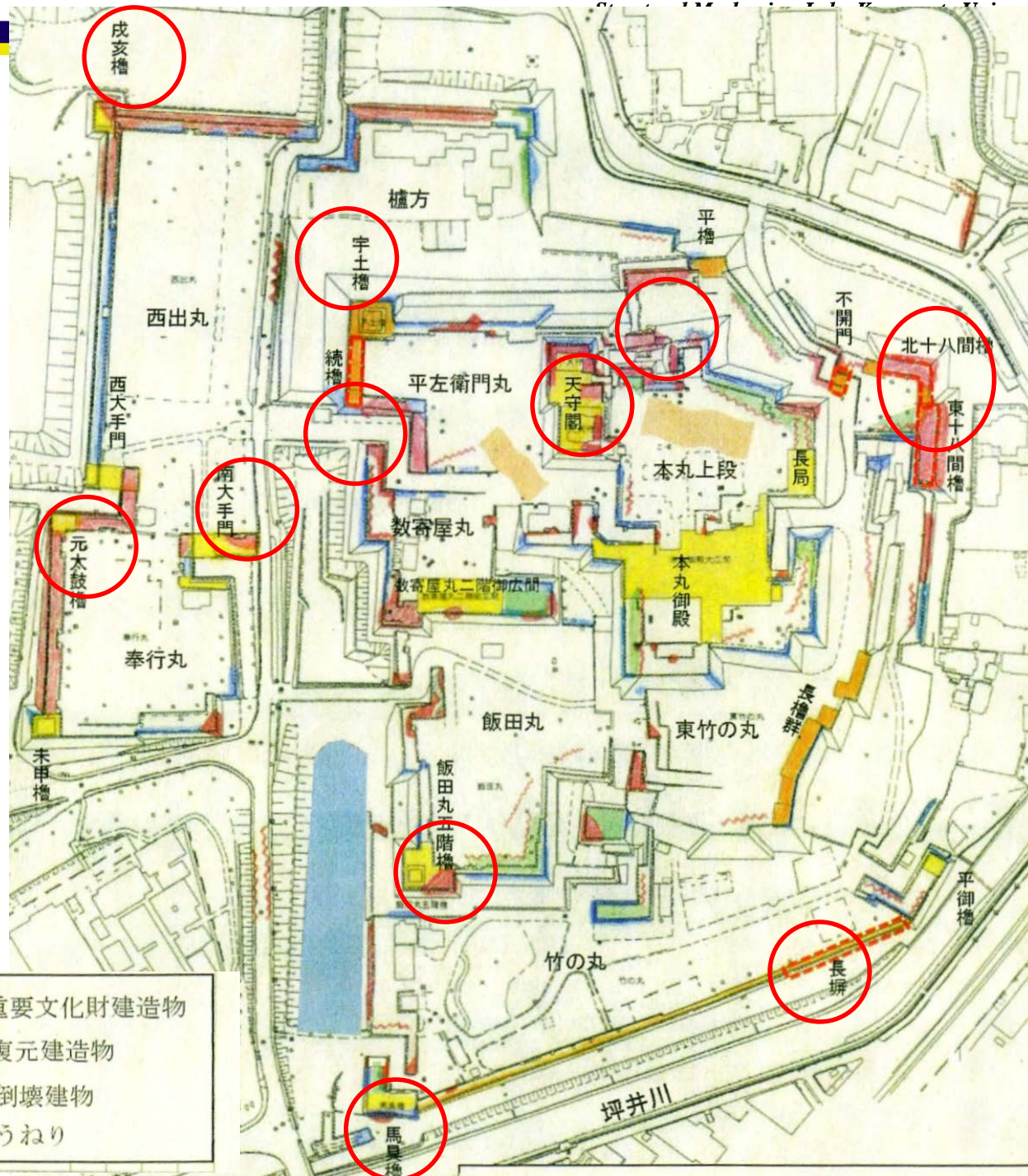
前震：重要文化財建造物10棟，石垣等6箇所程度が崩壊

本震：により城内の多数の櫓や石垣の崩壊が発生

二の丸広場

拡大図

	石垣崩壊		重要文化財建造物
	膨らみ・緩み・沈下		復元建造物
	曲輪面陥没		倒壊建物
	地割れ		うねり





長堀



東十八間櫓



戌亥櫓



宇土櫓







南大手門と行幸坂



西大手門と石垣



百閒石垣



二の丸御門の石垣



小天守地下蔵と石垣



大天守と小天守の境の石垣



3. 主な石橋の被災状況

地図データ@2016Google Mapより作成



通潤橋の被災状況（山都町）



- ・通潤橋の石垣部（赤丸）部の膨らみが大. その他2箇所有.
- ・通水管の継ぎ目のすき間の増加, 漆喰の損傷や浮き上がりなど被害が大きく, 通水管の破損と漏水の可能性有.

通潤橋の被災状況



壁石の膨らみ



漆喰の抜け

橋面の縁石付近の亀裂



通潤橋の漏水状況



二俣橋 (福良渡) の被災 (美里町)



下流側の壁石崩壊

壁石垣部が半分層崩. 上流側の壁石垣部に大きな膨らみが有り, これが影響

二俣橋 (福良渡) の被災



上流側の壁石崩壊

二俣橋(福良渡)の被災



八勢目鑑橋の被災（1885年、御船町）



アーチ輪石と崩壊した壁石垣

石垣と高欄の崩落



壁石垣部の崩壊部の変化



4月15日の崩壊状況



4月19日の崩壊状況

八勢目鑑橋のS63.3の崩壊



下鶴橋の被災状況（宇城市）



高欄崩壊と壁石垣の崩壊

高欄部の崩壊状況



アーチ輪石の損傷状況



アーチ輪石のすき間状況



右岸のアーチ基部の
割れとすき間

永山橋の被災状況（菊池市）

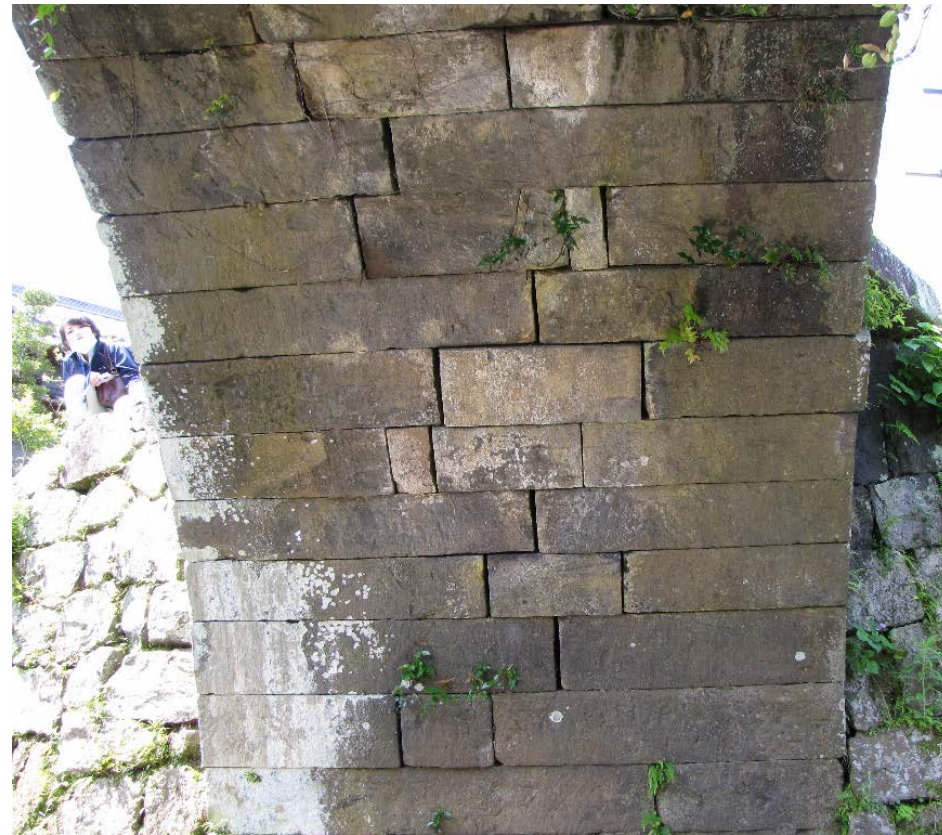


高欄崩壊と落下状況



高欄部の崩壊

壁石の孕みと輪石にすきま



銭瓶橋の被災状況 (南阿蘇村)

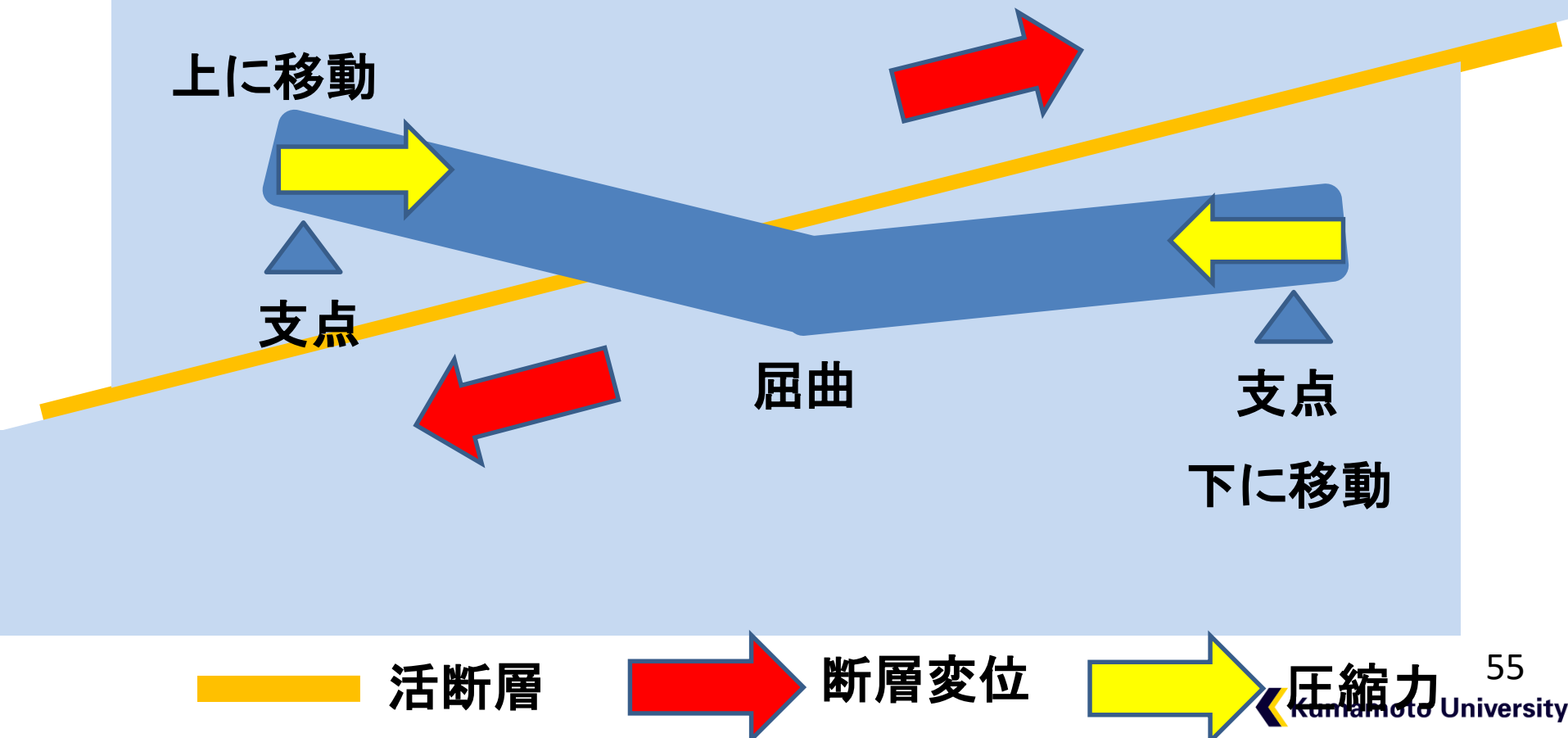


路面の被災状況



4. 地震被災の要因分析

右横ずれ断層により圧縮力が作用



県道28号熊本高森線 俵山大橋



橋桁の損傷も写真から確認

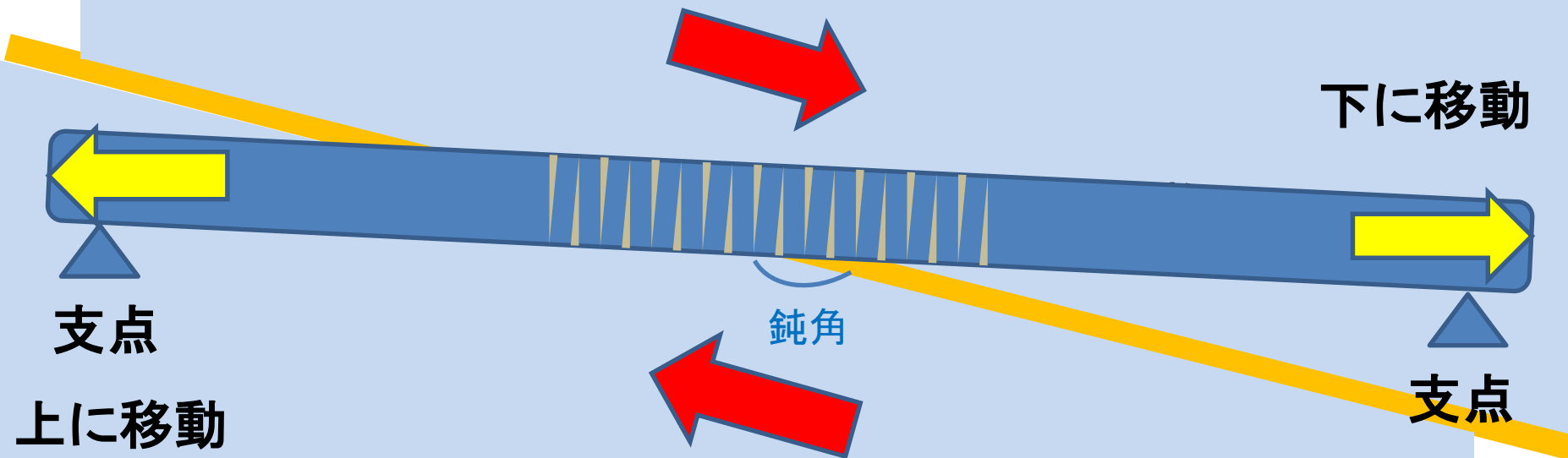
国土地理院提供



俵山大橋

右横ずれ断層により引張力が作用

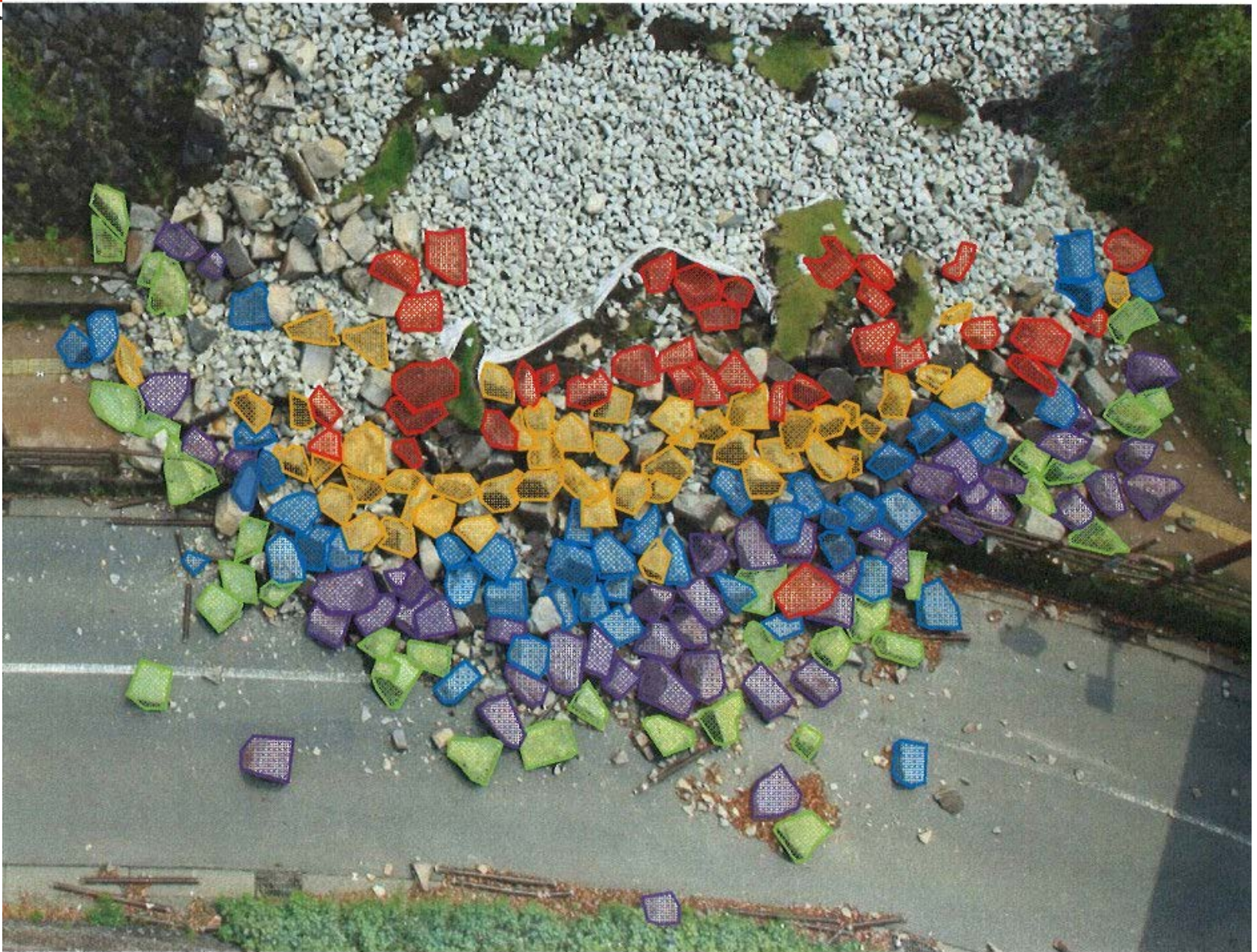
断層変位により支点が移動して引張力が作用



石垣の崩壊要因の考察

- ① 前震による被災状況に着目
重要文化財建造物10棟, 石垣等6箇所程度
が崩壊
- ② 石垣の補修方法に着目
今までに実施されてきた補修方法について
検討
- ③ 均一な裏栗材のみの使用
- ④ 石材の形状と控え石の長さの関係





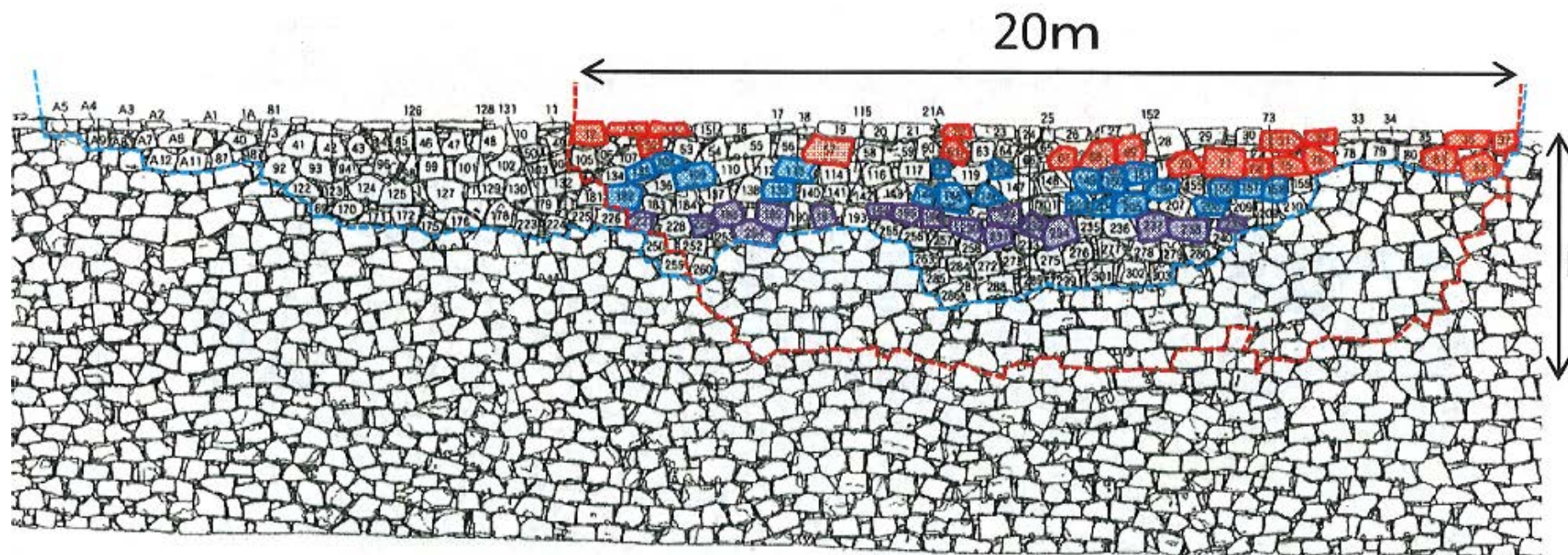
宮内橋際石垣空撮写真直





百閒石垣





百間石垣東側崩落図

(赤破線:熊本地震崩落 青破線:平成18年度修復)

* 1面目のみ表示 速報値



百間石垣東側崩落空撮写真

資料の提供 熊本市



熊本市の整備報告書より

石橋の壁石崩壊の被災事例（八勢橋）

八勢目鑑橋の
S63.3 の崩壊



八勢目鑑橋のS63.3の崩壊



八勢目鑑橋の崩壊後の補修工事



壁石垣の崩壊部の変化



前震後(4/15)の崩壊状況

本震後(4/19)の崩壊状況

石垣の崩壊要因の考察

① 前震による被災状況に着目

重要文化財建造物10棟, 石垣等6箇所程度が崩壊

→ 前震により石垣の緩み, ズレや孕みなど**初期変形の発生**の可能性

② 石垣の補修方法に着目

→ 今までに実施されてきた補修方法. 特に, 雨水対策に使用してきた**吸出し防止材は地盤境との分離を発生**

③ 均一な裏栗材のみの使用

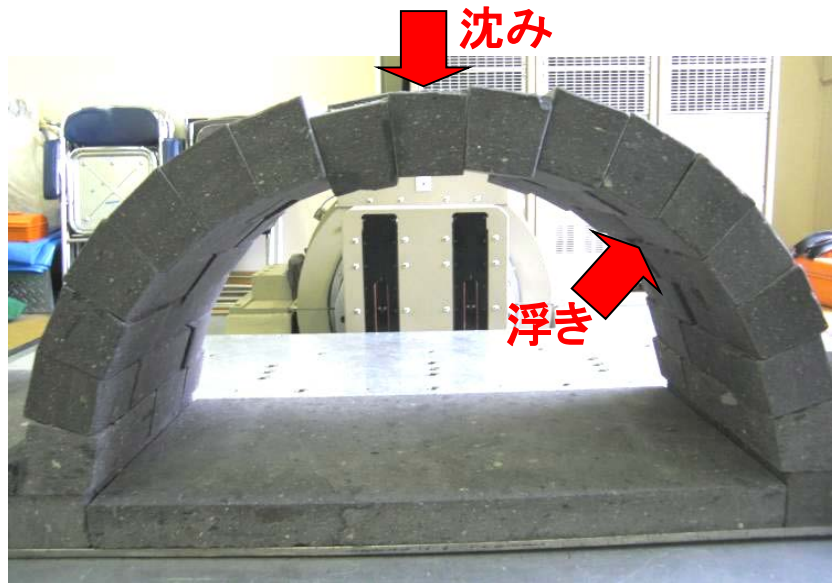
④ 石材の形状と控え石の長さ

他の石垣の崩壊要因

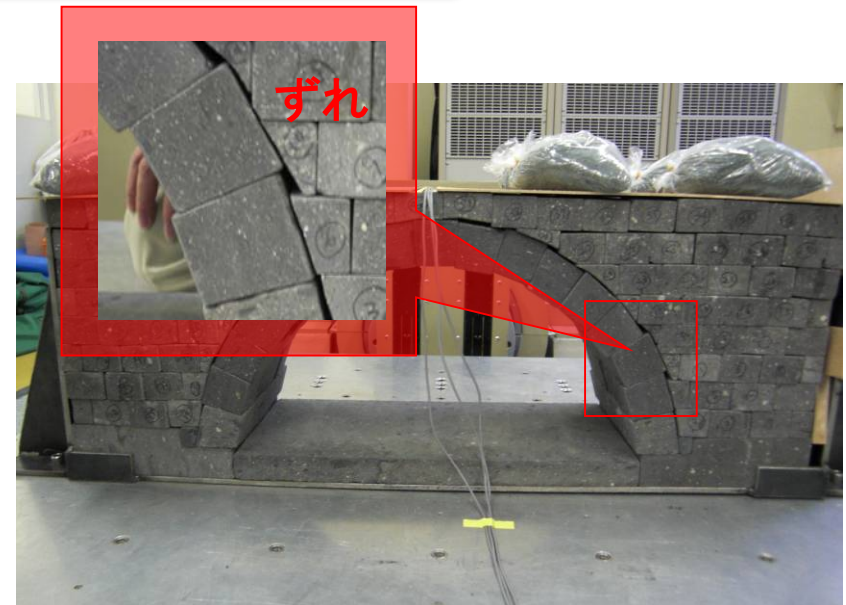
- 石垣勾配や石垣構造、建造時期との関係
- 石材形状と裏栗の状態
- 排水問題
- 樹木の繁茂状況
- 石積み技術
- 過去の崩壊履歴と補修方法

今後、崩壊の現場の実態調査が必要

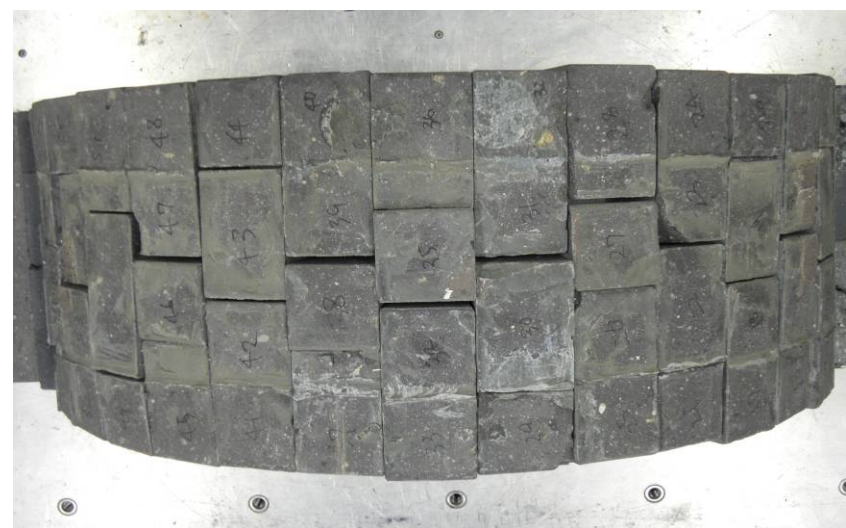
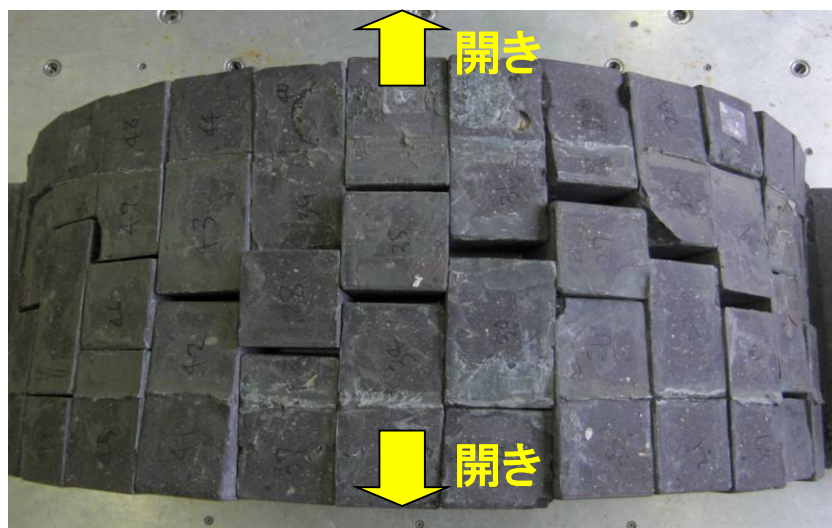
振動実験後の模型の変形



(a) アーチ輪石のみ



(b) 壁石有り

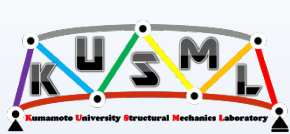


石橋の被災状況のまとめ

- 石橋の高欄の崩壊、壁石垣の崩落、アーチ輪石のすき間、壁石の膨らみ等で被災石橋が20. 国重要文化財3橋、県と町指定各5橋あり。
- アーチ輪石のみで復元した1橋が崩落、それ以外はない。アーチ輪石のすき間が橋軸直角方向に発生した石橋が3橋ほどあり、実験模型との対応が見られた。



被災状況の詳細調査と石垣の崩壊メカニズムの解明が必要



ご清聴ありがとうございました