

熊本地震の橋梁被害と課題



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



CAESARが地震被害調査を行う目的

○道路管理者の要請を受け、

- 被害状況を調査
- 通行規制について助言
- 応急復旧方針について助言
- 必要な調査内容について助言
- 本復旧方針について助言

○地震の教訓を今後の技術行政に反映するため、

- 被害原因を分析
- 対策技術等について研究開発

※これらの活動は、国土技術政策総合研究所と共同で行っています



地震被害調査・助言を行うCAESAR職員

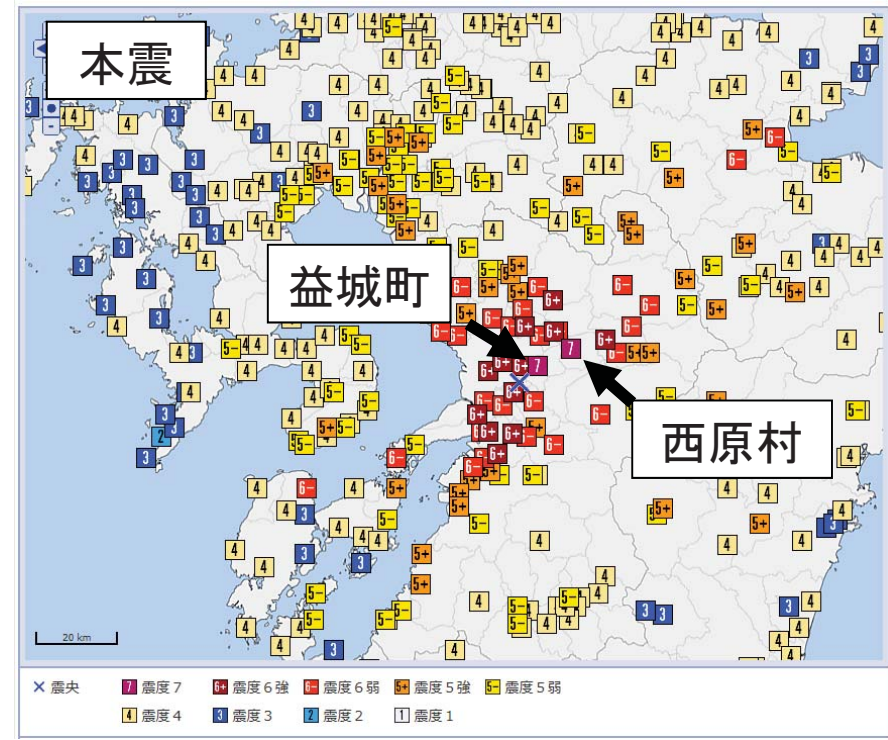
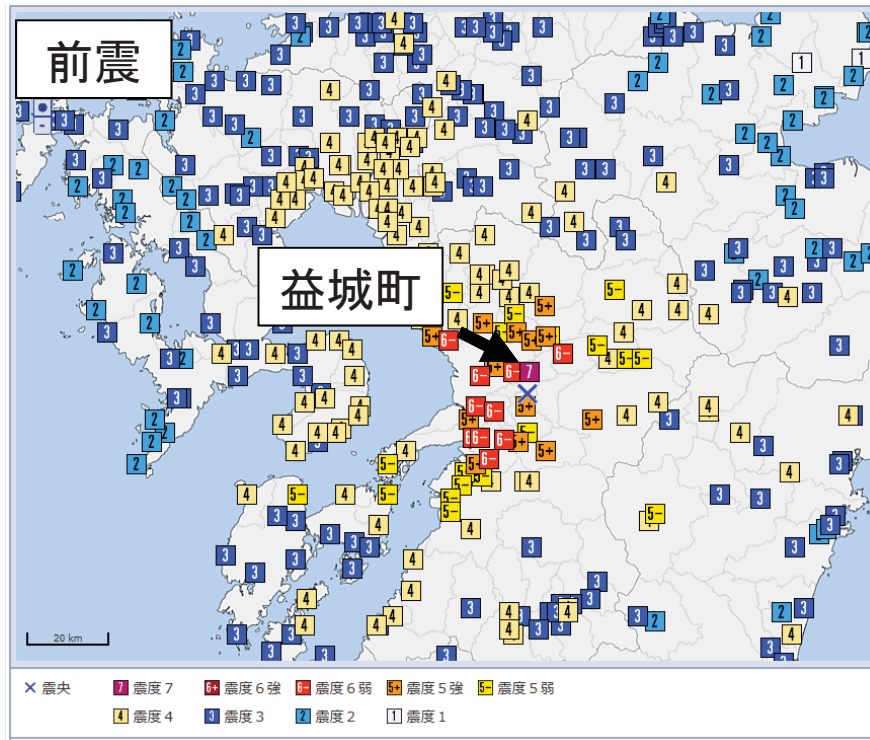


前震・本震による震度7の計測

■前震(4月14日21時26分): 益城町

■本震(4月16日 1時25分): 益城町、西原村

【参考】新潟県中越地震 (M6.8): 川口町(本震:震度7 →同日余震(M6.5):震度6強)
 東北地方太平洋沖地震 (M9.0): 築館(本震:震度7 → 4 / 7余震(M7.2):震度6強)
 銚田(本震:震度6強 →同日余震(M7.6):震度6強)



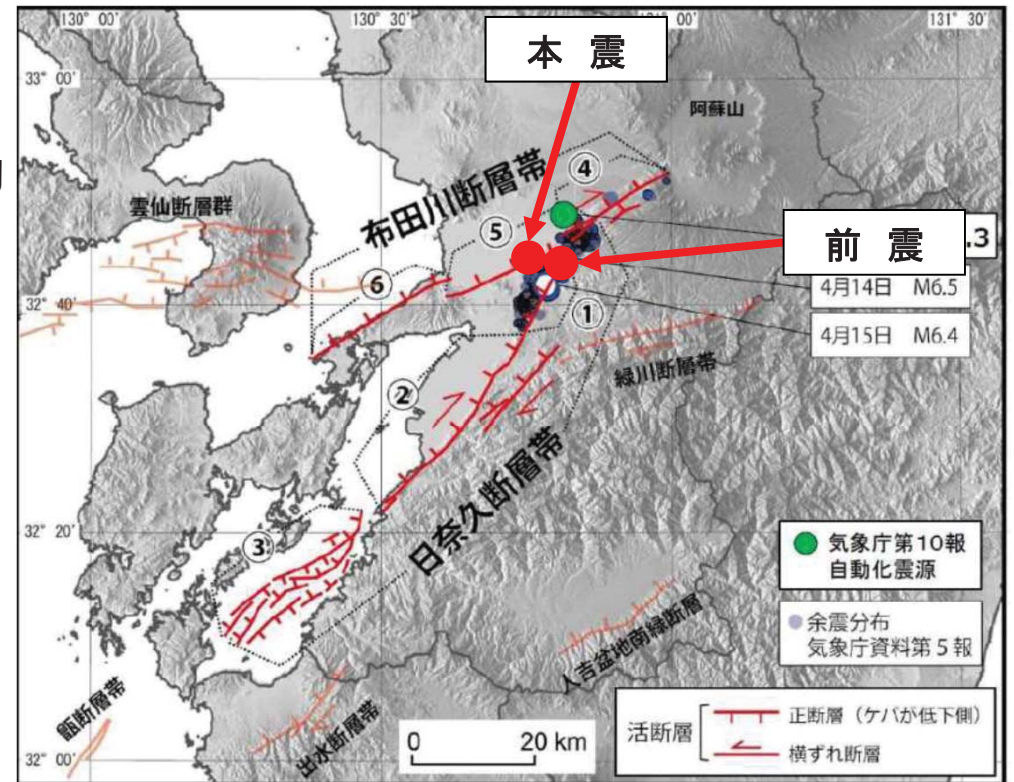
熊本地震の諸元等

地震調査研究推進本部資料に加筆

- 本震(4月16日 1時25分)
M7.3、震源深さ12km
布田川断層帯(主に布田川区間)の活動

- 前震(4月14日21時26分)
M6.5、震源深さ10km
日奈久断層帯(高野-白旗区間)の活動

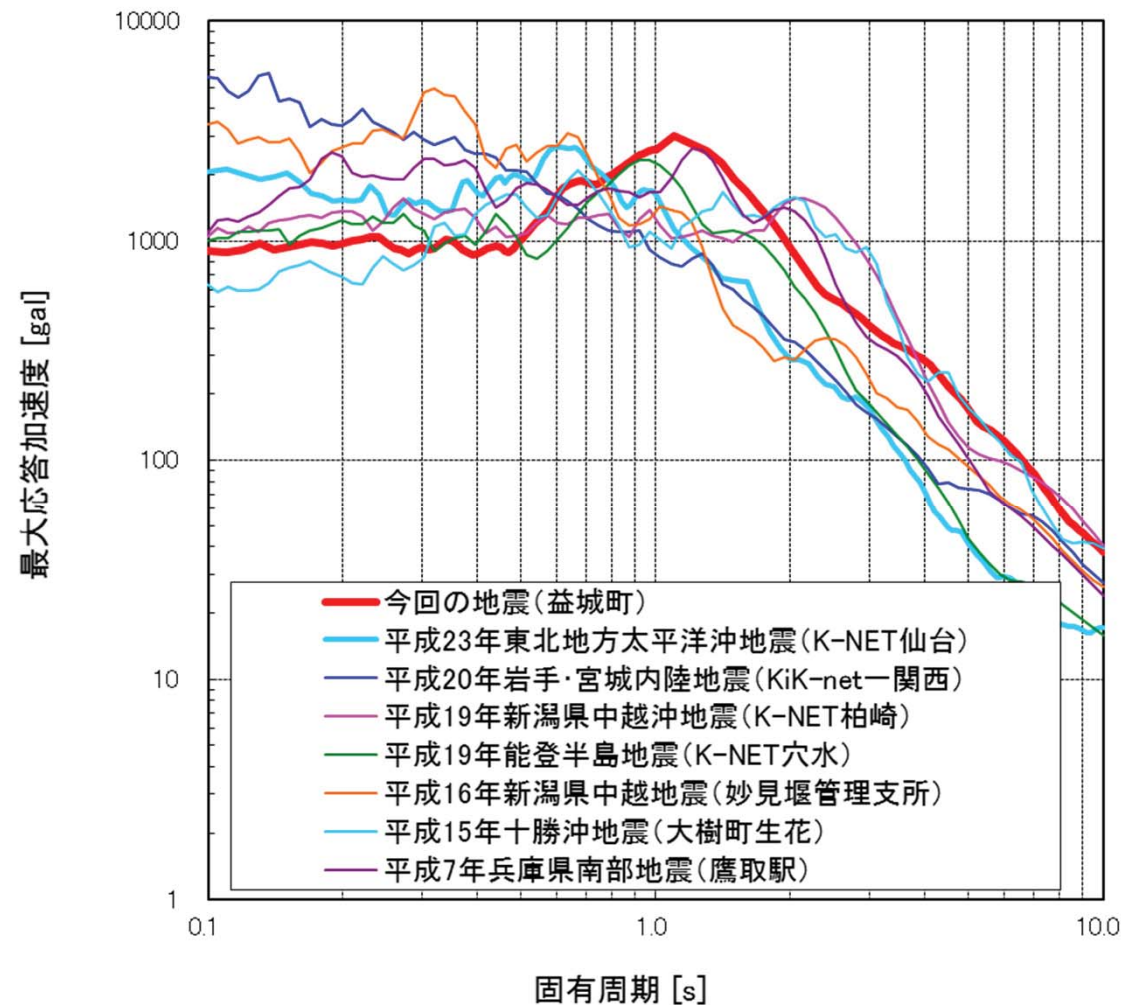
- ・ 九州は正断層が多い地方。
- ・ 布田川断層帯、日奈久断層帯も右横ずれを伴う正断層。
- ・ 今回の地震は比較的右横ずれが卓越。



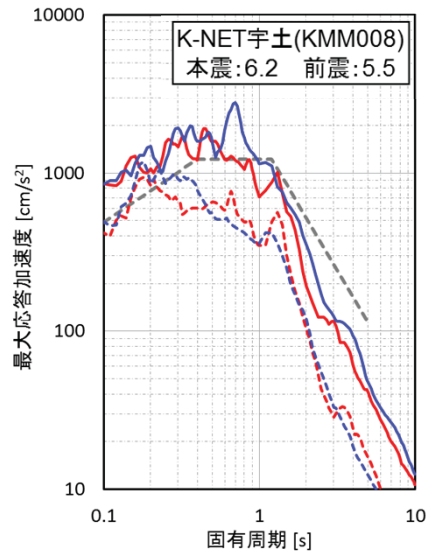
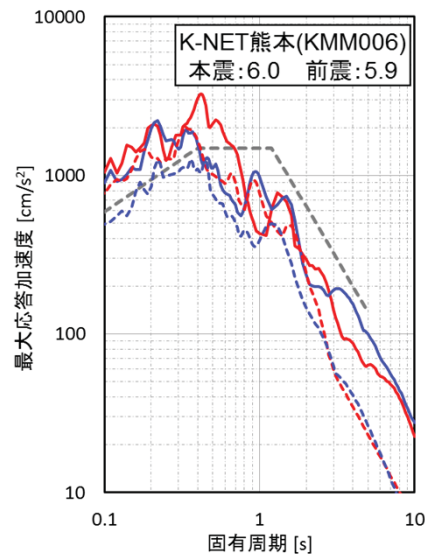
- ① 高野-白旗区間 (M6.8程度) ② 日奈久区間 (M7.5程度) ③ 八代海区間 (M7.3程度)
- ④ 布田川区間 (M7.0程度) ⑤ 宇土区間 (M7.0程度) ⑥ 宇土半島北岸区間 (M7.2程度以上)



近年の代表的な被害地震との比較

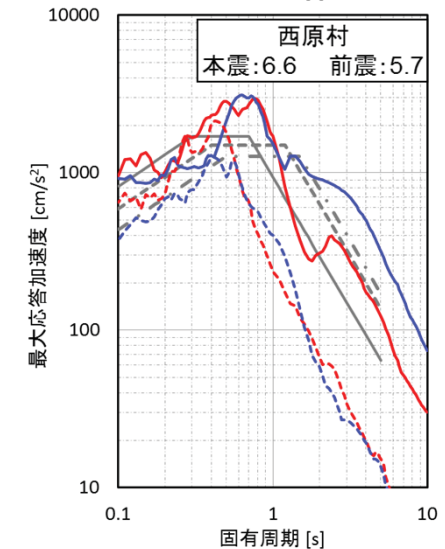
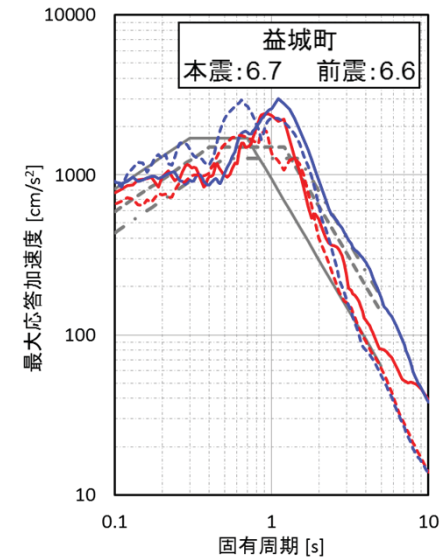


代表的な地震動の加速度応答スペクトル



周期帯によってはレベル2地震動(タイプII)を上回る地震動が発生

※地震計が設置された場所・地盤条件での計測値であり、道路構造物の設置位置での地震動とは異なることに留意



※防災科学技術研究所 K-NET,KiK-net、各自治体の記録を使用



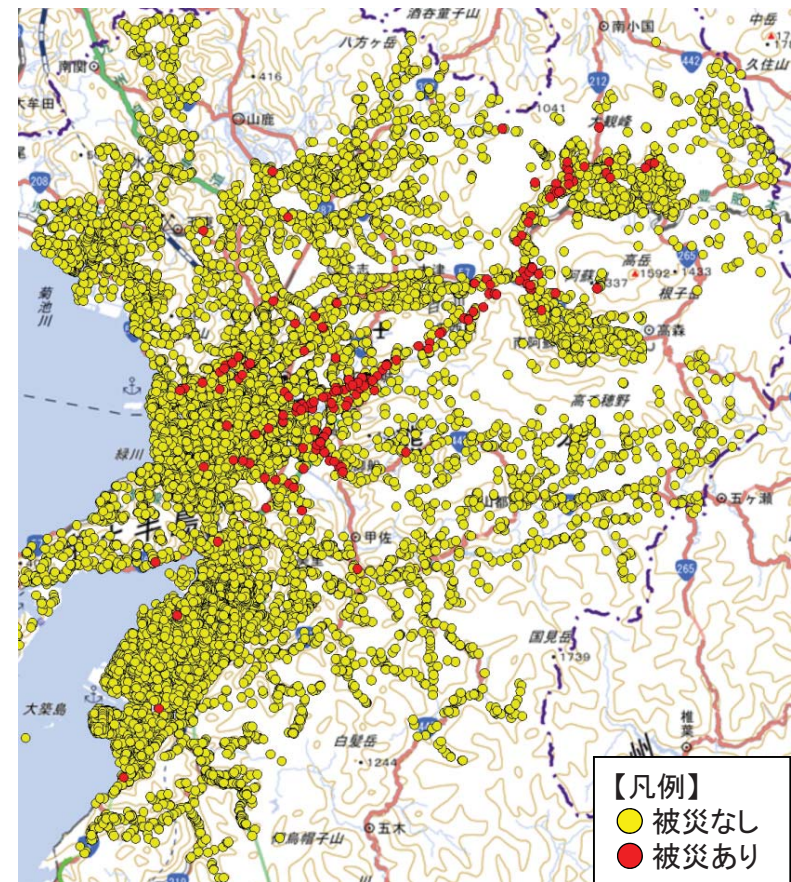
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



橋梁の被害の概要

- 熊本県内、大分県内の震度6弱以上を観測した地域における橋梁数は約15,700橋であり、このうち、軽微な損傷を含め、何らかの被災が生じた橋梁は182橋※1
(軽微な損傷には、橋梁取り付け部に生じた段差等、橋梁以外の損傷も含む)
- また、平成9年以降に建設された1,250橋のうち、何らかの被災が生じた橋は20橋(1.6%) ※1

※1 地方公共団体が管理する橋梁の被災は国交省所管施設災害申請ベース(平成28年5月31日時点)



地図: 国土地理院地図



国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



出典: 社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会資料

道路橋示方書に規定される耐震性能と地震被害

設計地震動	A種の橋	B種の橋
レベル2地震動	地震による損傷が橋として致命的とならない性能 (耐震性能3)	地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能 (耐震性能2)



近年の基準に基づき設計された橋について、設計基準上、許容されない損傷が生じていれば、**教訓を設計基準に反映**させることが必要

古い橋であっても、致命的な損傷が生じている場合には、**警鐘を鳴らす**ことが必要

本資料で説明する被災箇所位置図



図-1 被災箇所位置図

※図上の位置は概略

損傷が致命的となった橋



国道325号 阿蘇大橋



村道栃の木～立野線 戸下大橋



県道小川嘉島線 府領第一橋



町道平田・小柳線 田中橋



村道獄大道・吉岡線 宇曾谷橋

阿蘇大橋



阿蘇大橋

【全景】



写真-1 落橋前の状況 (google mapより)

架設竣工年: S46年

上部構造形式: 単純合成鈹桁, トラスト逆ランガー,
3径間連続非合成鈹桁

下部構造形式: (橋台) 逆T式橋台
(橋脚) 壁式橋脚 (RC)

杭形式: 場所打ち, 直接基礎

橋長: 205.96m 径間数: 5径間



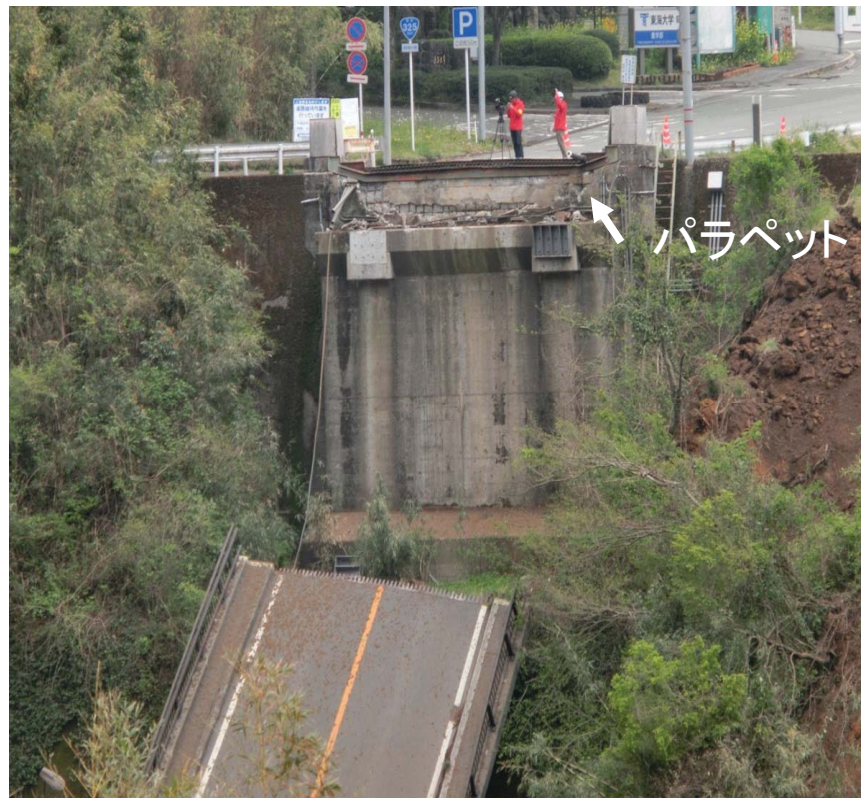
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



阿蘇大橋

■A1橋台

- ・パラペットが破壊し後ろ側に倒れ
- ・橋台本体の明らかな変位・傾斜は確認されず
- ・橋台下側(アーチアバット周辺)は岩が露出



阿蘇大橋

■ A2橋台

- ・橋台を境に地山が崩落
- ・舗装と橋台に大きな段差がみられない



阿蘇大橋

- 落橋原因は特定できないが、斜面崩壊の影響、地盤変位の影響があったものと推定
- 斜面崩壊の影響を受けにくい箇所を選定
- 地盤変位があっても落橋しにくい橋種を選定

国道325号阿蘇大橋架け替え位置

国土交通省



村道柵の木～立野線
阿蘇長陽大橋

出典：国土交通省記者発表資料



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



戸下大橋



写真-1 被災前

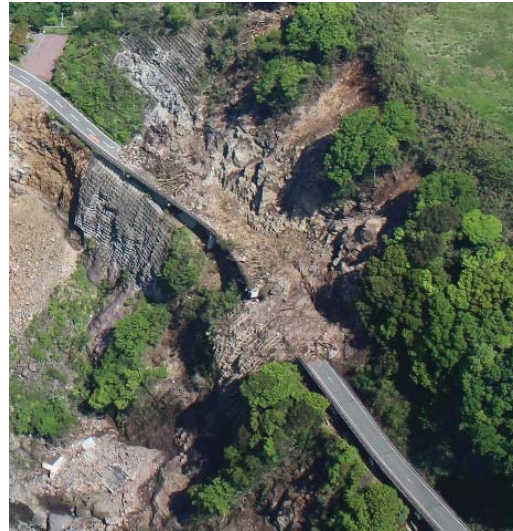


写真-2 斜面崩壊と橋梁の流出



写真-3 斜面崩壊と橋梁の流出



写真-4 橋脚の流出

- ・路線名:
村道栃の木～立野線
- ・橋長:380.8m
- ・径間数:17径間+片棧道
- ・架設年次:1995年(H7)
- ・橋梁形式:PCT桁橋など

府領第一橋



- ・路線名：県道小川嘉島線
- ・橋長：61.3m
- ・径間数：3径間
- ・橋梁形式：RC中空床版橋
- ・架設年次：1974年(S49)

写真-1 落橋の状況

府領第一橋



写真-2 A1橋台の損傷



写真-3 斜角側橋座部に残された擦過痕



写真-4 ロッキング橋脚の脱落・転倒

府領第一橋



写真-1 ピボット支承(上沓)

■ピボット支承には被災前に、劣化や損傷はなかったものとみられる。

■支承部アンカーボルトや取り付けボルトにも異常は確認されず、摺動部には発錆もほぼ確認できない。



写真-2 ピボット支承(下沓)



写真-3 ピボット支承(下沓拡大)

府領第一橋

- 特殊な橋脚(ロッキング橋脚)を有する橋
 - ・ 上下端がヒンジ構造の複数の柱で構成
 - ・ 単独では自立できない
 - ・ 水平方向の上部構造慣性力を支持することができない

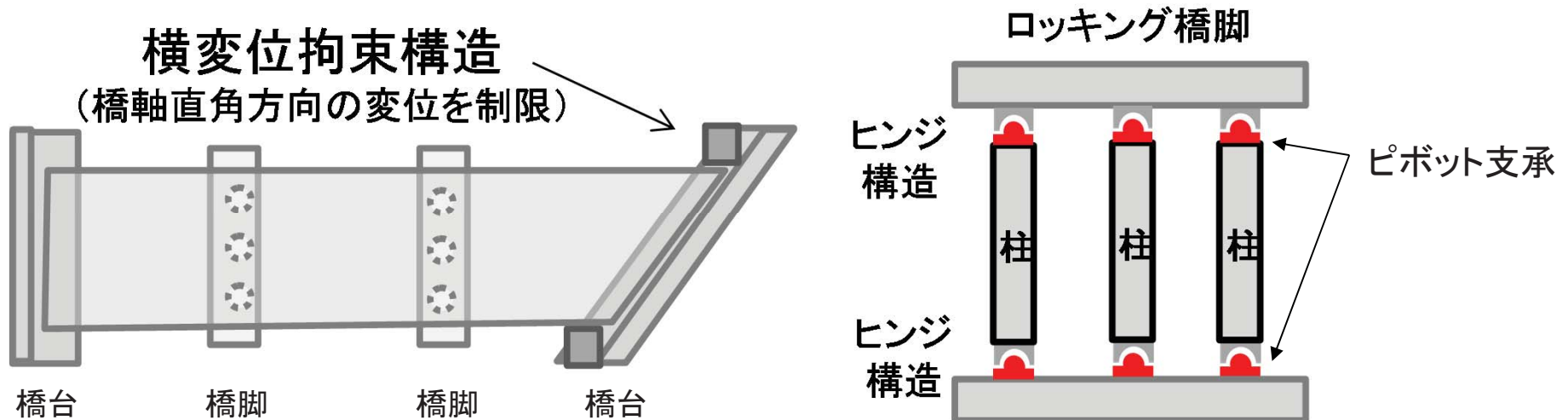


図-1 府領第一橋の構造

府領第一橋

- 耐震設計基準に準拠して橋台部に横変位拘束構造が追加設置されていたが、大きな地震力により横変位拘束構造が破壊され、上部構造の水平変位を制限することができなくなり、さらに、上部構造の水平変位に伴い、中間支点の鉛直支持を失い落橋に至ったと考えられる。

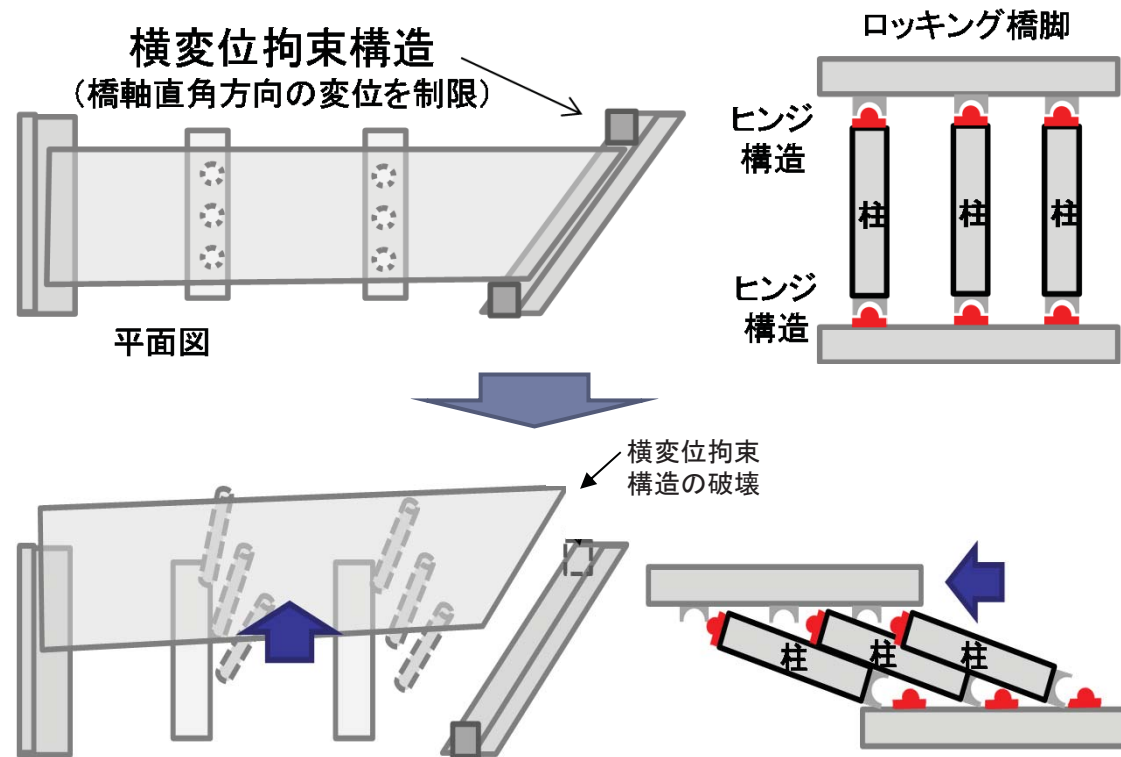
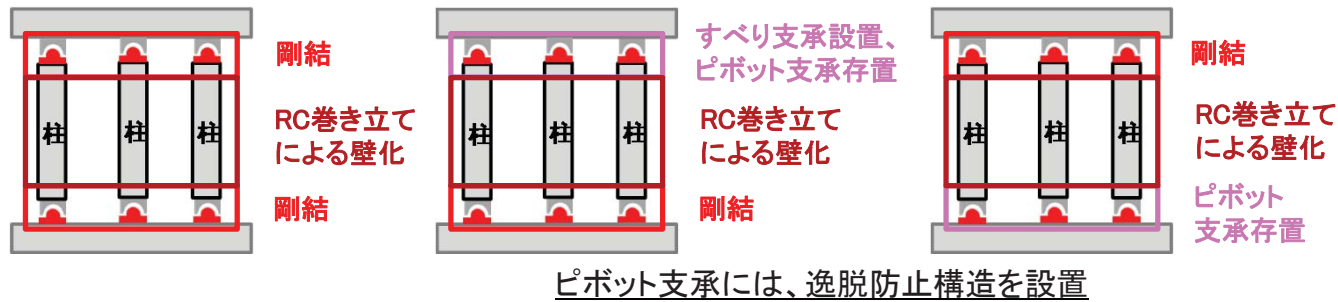


図-1 府領第一橋の想定落橋メカニズム

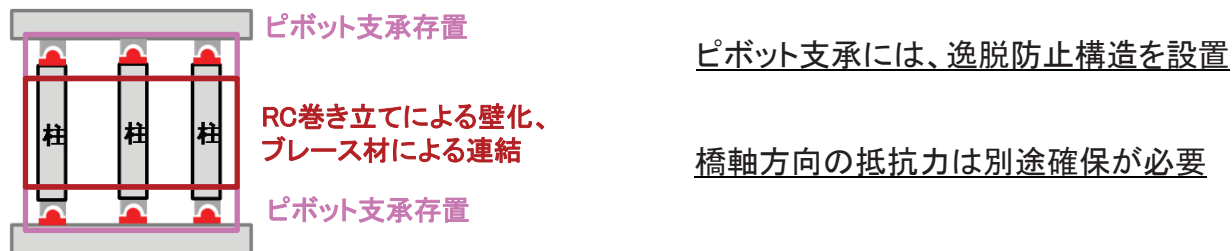
ロッキング橋脚の耐震補強の考え方

○ロッキング橋脚の安定性を確保するための構造とする

① 単独で自立可能な構造(完全自立構造)を基本とする



② 施工上の制約がある場合等には、橋軸方向には単独で自立できないが、橋軸直角方向には自立する構造(半自立構造)とする



田中橋



- ・路線名:町道平田・小柳線
- ・架設年次:1930年(S5)
- ・橋長:28.1m
- ・径間数:3径間

写真-1 被災前 ※益城町橋梁長寿命化修繕計画より



写真-2 落橋状況



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



田中橋

- 左岸側橋台：石積橋台の崩壊
- 右岸側橋台：桁が押し込まれた形跡
- 橋脚が破壊：比較的大きなコンクリートのブロックに分離。



写真-1 左岸側橋台



写真-2 右岸側橋台上部



写真-3 左岸側橋脚

宇曾谷橋

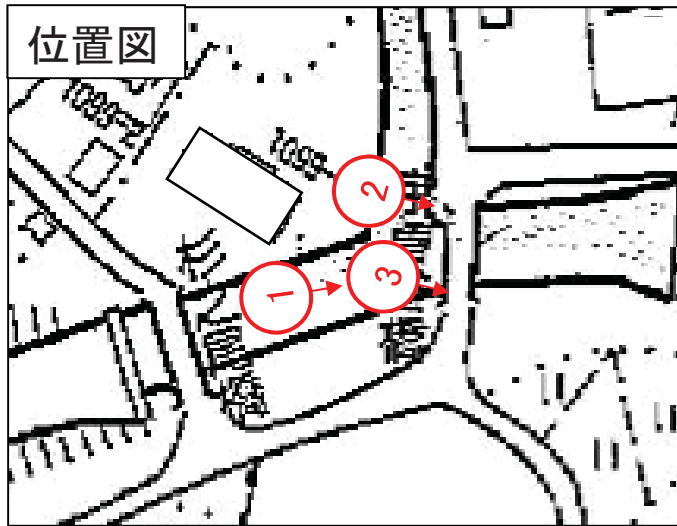
・路線名:村道獄大道・吉岡線

・橋長:11.5m

・径間数:1径間



宇曾谷橋



宇曾谷橋

ソトパノ 熊本 阿蘇・小国町 大分 九重町など携帯電話の利用困難

熊本など震度6相次ぐ

2:02

熊本～大分地震相次ぐ
激しい揺れ 今後も警戒

山王谷川

宇曾谷橋

杉之尾橋



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

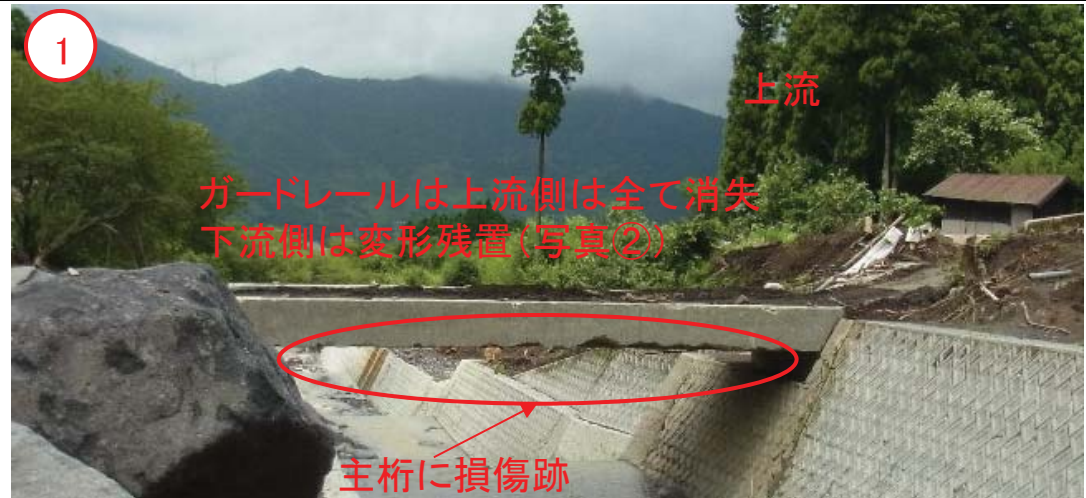
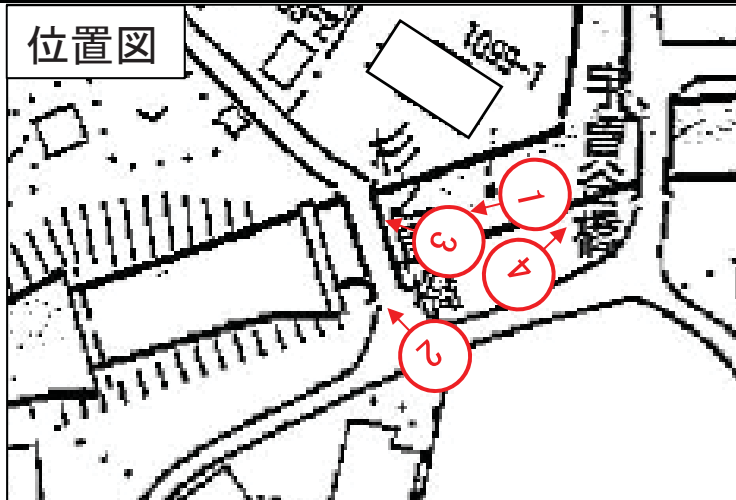


※NHKより引用

宇曾谷橋



杉之尾橋



耐震補強の効果の事例

【耐震補強の効果があった事例】

(緊急輸送道路としての機能を速やかに回復した事例)



(熊本市内)

写真-1 国道3号 跨線部

耐震補強の実施により、
損傷は限定的

段落し部の損傷

【耐震補強が未実施で

被害を受けた事例】



ちゅうおうせんりっきょう

写真-5 市道(1-3)中央線・中央線陸橋



あそぐち
写真-2 阿蘇口大橋
(国道57号)



桁
橋台
写真-3 アンカーバー
のイメージ



写真-4 支承の破損の状況

支承が損傷したものの、ア
ンカーバーによる補強によ
り、損傷は軽度

取付部の損傷



写真1 橋台の損傷



写真2 橋台の損傷

取付部の損傷



写真1 アンカーボルト定着部の損傷



写真2 ダンパー取付部の損傷

特殊橋の被害



写真-1 桑鶴大橋の全景(A1側から)

- ・路線名：県道熊本高森線
- ・径間数：2径間
- ・橋長：160.0m
- ・橋梁形式：斜張橋
- ・架設年次：1997年(H9)

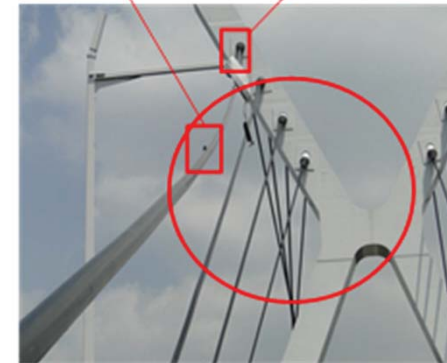
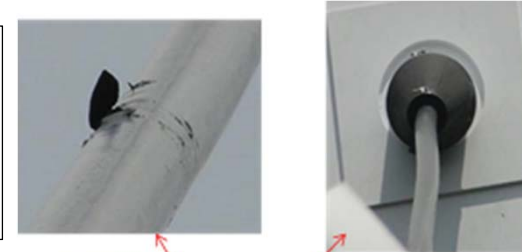


写真-2 A2橋台支承、変位制限構造、パラペットの損傷



写真-3 A2橋台伸縮装置の損傷と段差



写真-4 ケーブルの損傷

特殊橋の被害

- トラス橋やアーチ橋のような特殊橋においては、支承部の損傷や端柱基部のボルトの破損等が生じた事例があった。
- これらに対しては、個々に補強対策を検討し、必要に応じて対策を講じることが必要。

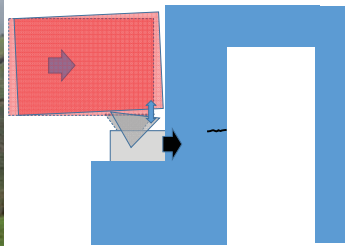


写真-1 取付けボルトの抜け出し、橋台背面の損傷(並柳橋)

写真-2 座屈拘束ブレースが取り付けられた端柱基部のボルトの破損(南阿蘇橋)

俵山大橋



写真-1 A1橋台側からの全景

- ・路線名：県道熊本高森線
- ・径間数：3径間
- ・橋長：140.0m
- ・橋梁形式：鋼鈹桁橋
- ・架設年次：2001年(H13)



写真-2 A1-P1間での上部構造の屈折



写真-3 A1橋台の基礎の露出

俵山大橋



写真-1 A1橋台と桁の衝突、
支承の残留変形



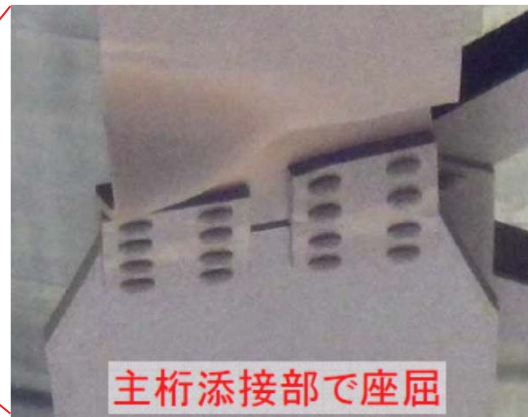
写真-2 A2橋台パラペットの押し込まれ、
支承部の破壊



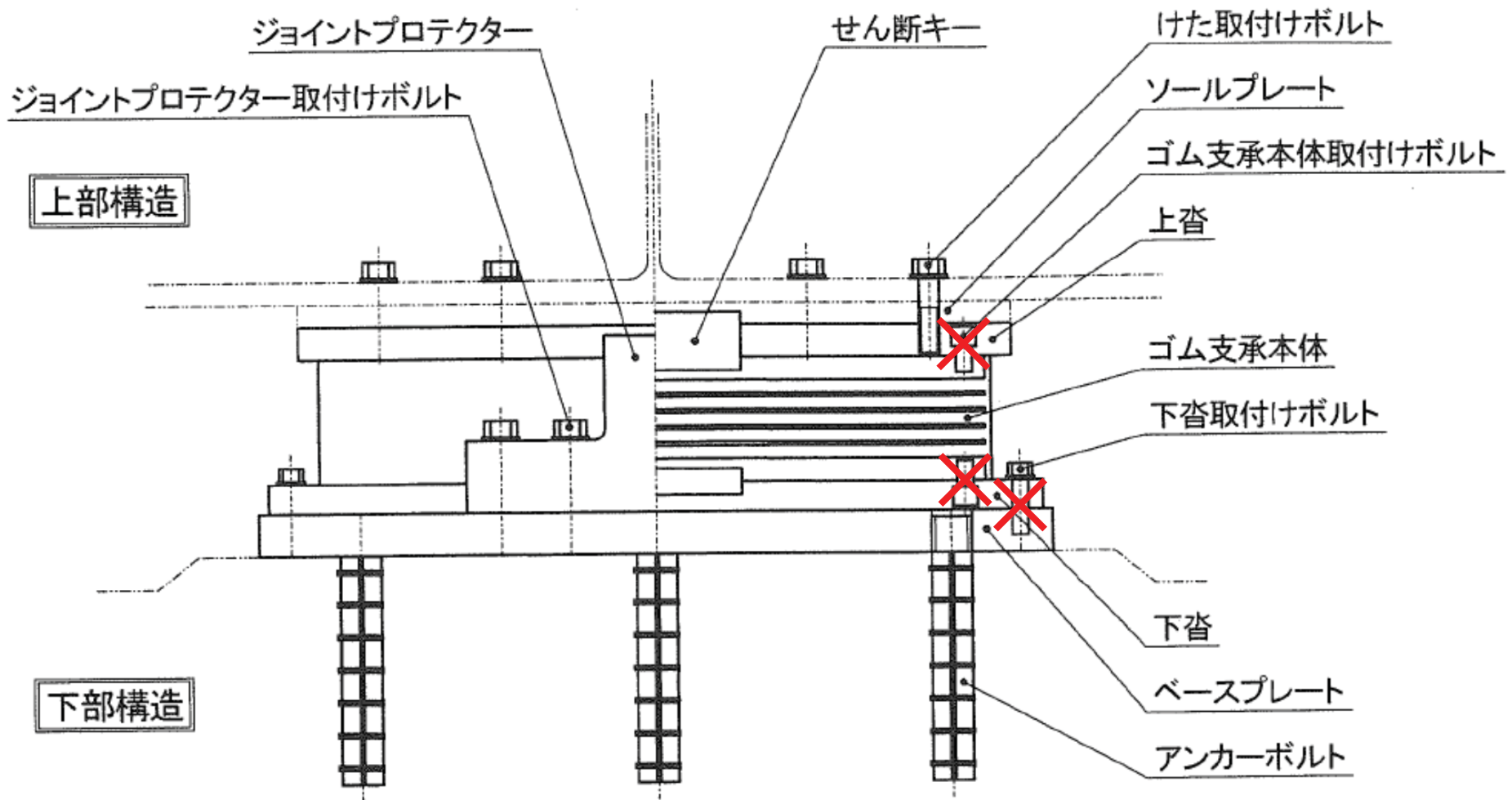
写真-4 ゴム支承の破壊
(P2橋脚)



写真-3 A1-P1間での主桁の座屈



俵山大橋のP 2、A 2 支承の破壊箇所

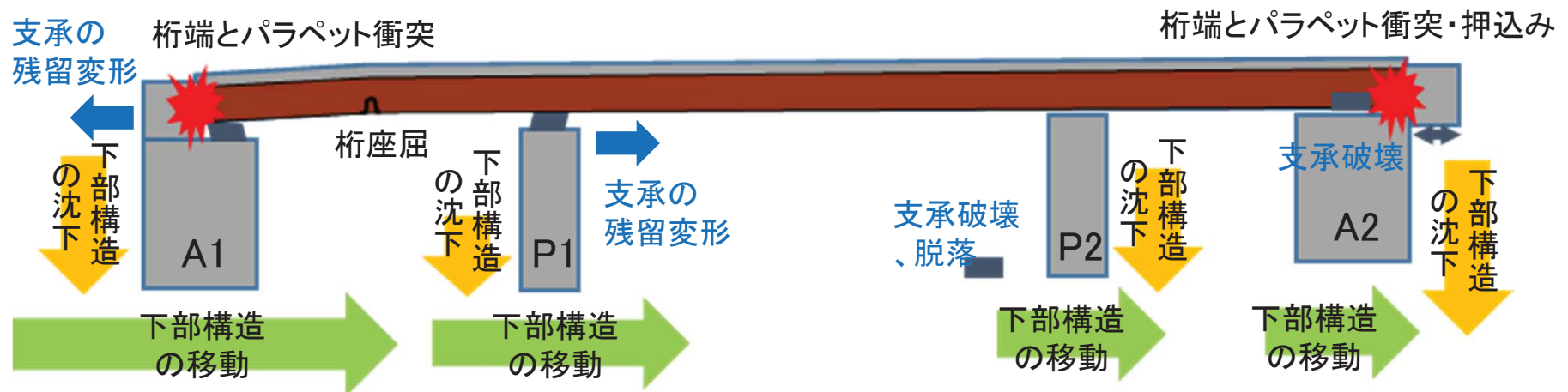


鋼橋用支承の構造例



俵山大橋の被災要因の推定

- 地盤の変状により、各下部構造が水平方向に移動し、鉛直方向に沈下。
- A2側パラペットは背面側に押し込まれて損傷。
- 支承部に水平力及び引張力が作用し、支承の取付ボルトで破壊。
- A1-P1間の桁フランジ断面変化部で座屈。



扇の坂橋



写真-1 扇の坂橋

- ・ 路線名：県道熊本高森線
- ・ 径間数：3径間
- ・ 橋長：128.0m
- ・ 橋梁形式：鋼鈹桁橋
- ・ 架設年次：2001年(H13)



写真-3 A1橋台ゴム支承上
の下フランジの変形



写真-4 A1橋台の横変位
拘束構造の損傷

扇の坂橋



写真-1 A1橋台ゴム支承の残留変形と
ジョイントプロテクターの損傷



写真-2 A2橋台ゴム支承の残留変形

扇の坂橋の被災要因の推定

- 地盤の変状により、各下部構造は水平方向に移動。
- ゴム支承に最大で弾性範囲を超える残留変形。
- ゴム支承に生じた残留変位の方向にずれ。
- 横変位拘束構造、ジョイントプロテクター、パラペットの損傷状況から、ゴム支承には設計変位を超える応答は生じていないと考えられる。

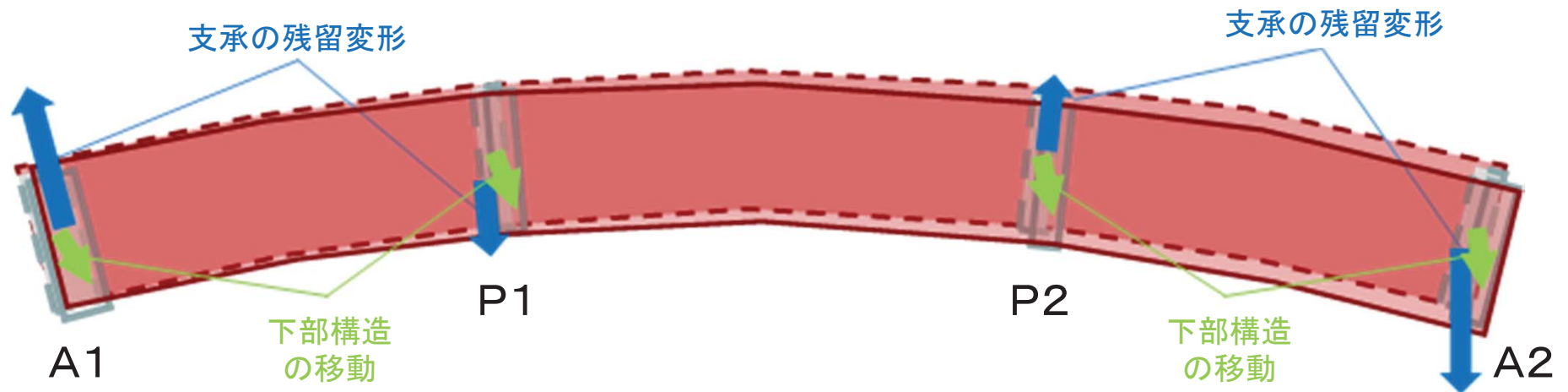


図-1 各下部構造、上部構造の移動方向(破線:地震前、実線:地震後)

大切畑大橋



写真-1 大切畑大橋全景

- ・路線名：県道熊本高森線
- ・径間数：5径間
- ・橋長：265.4m
- ・橋梁形式：鋼鈹桁橋
- ・架設年次：2001年(H13)



写真-2 大切畑大橋(A1側から)



写真-3 桁の残留変位



写真-4 落橋防止ケーブルの破断



写真-5 P2橋脚のひび割れ

大切畑大橋の支承の損傷

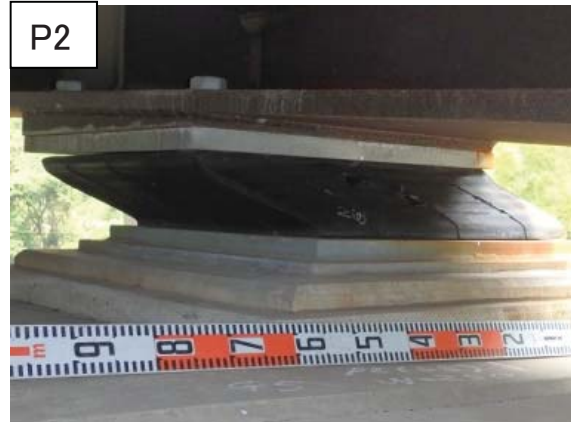
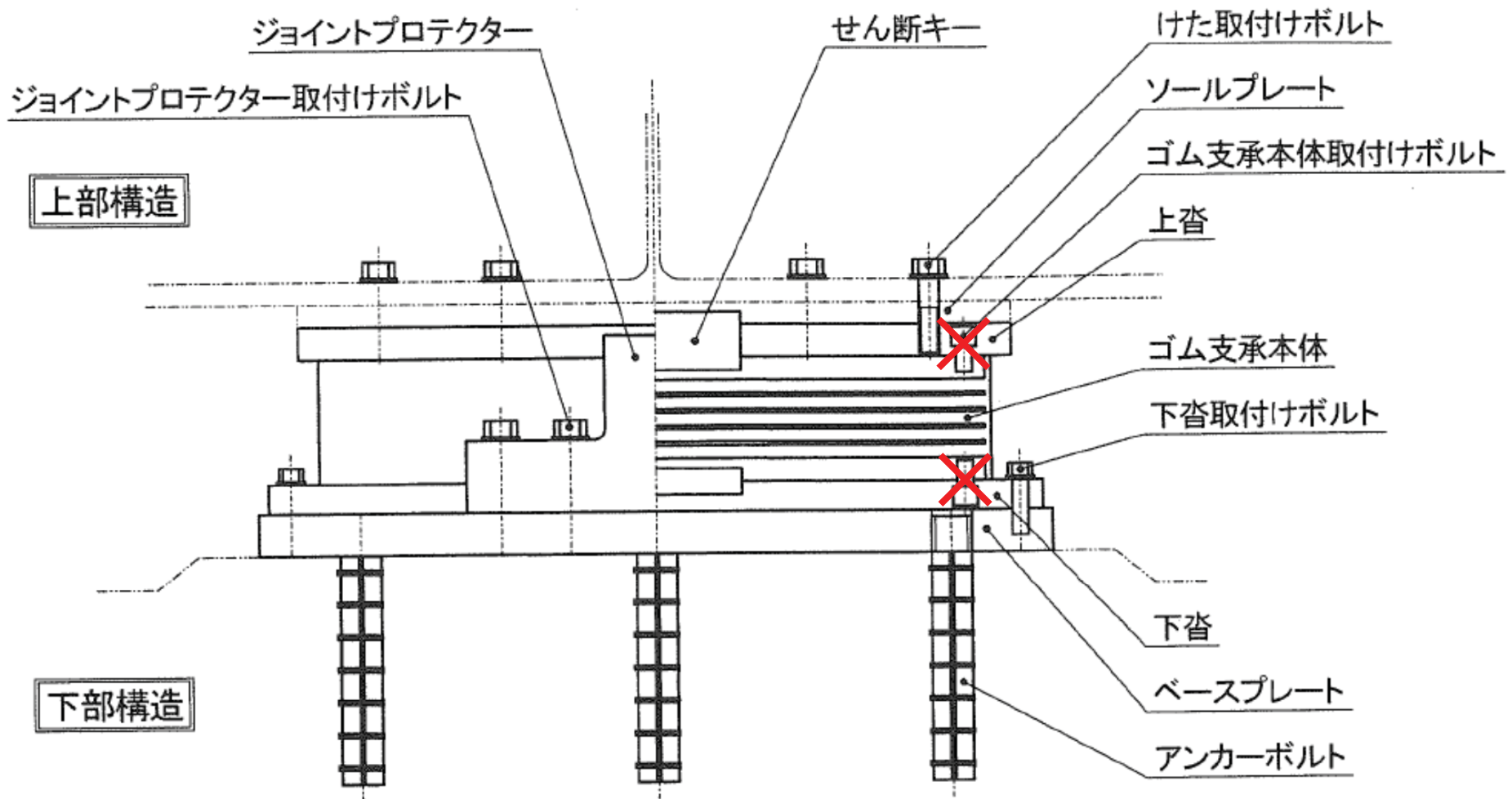


写真-1 ゴム支承の損傷状態

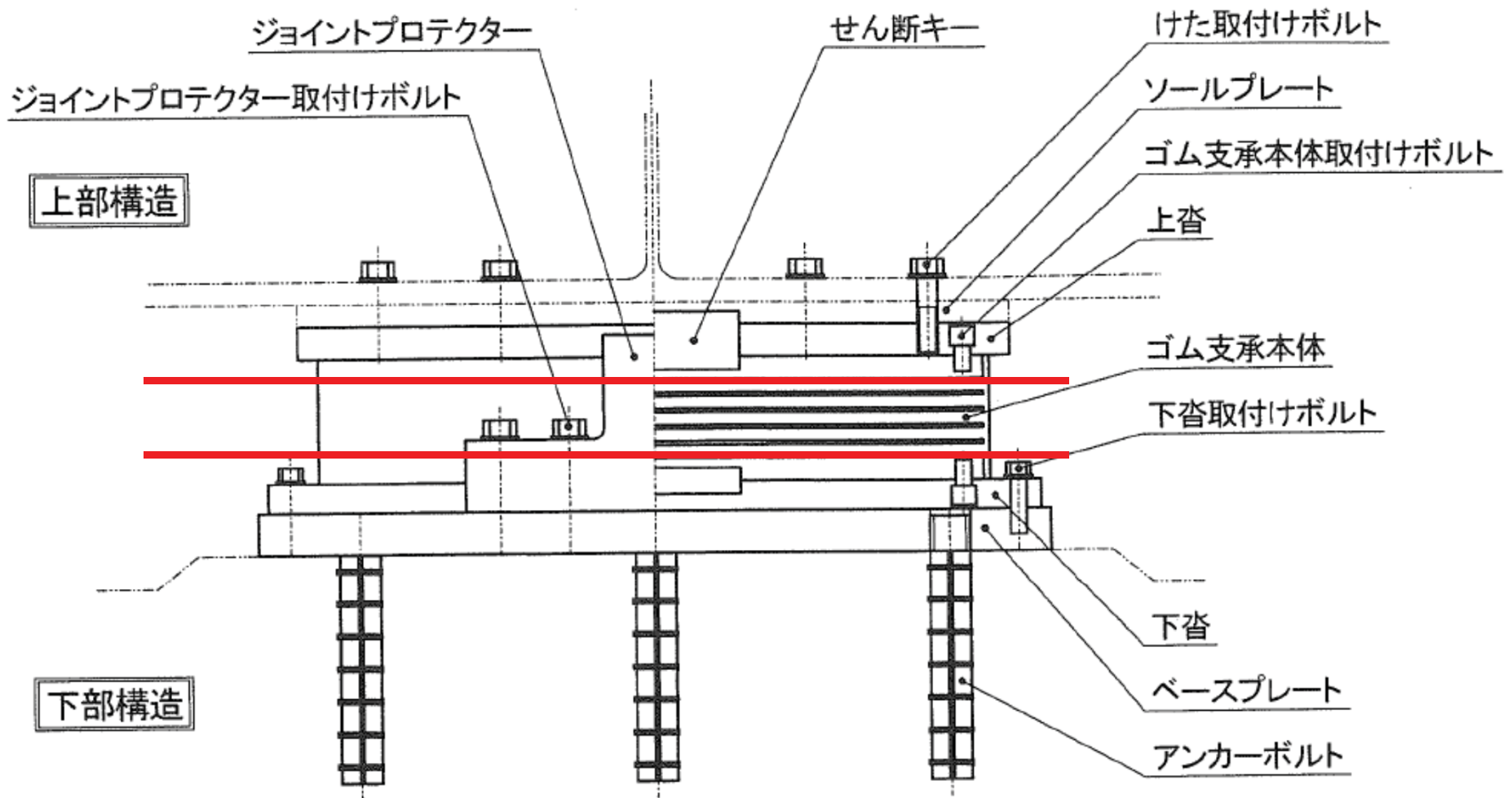
大切畑大橋の支承の破壊箇所 (P1,P3,P4)



鋼橋用支承の構造例



大切畑大橋の支承の破壊箇所 (A1, A2)

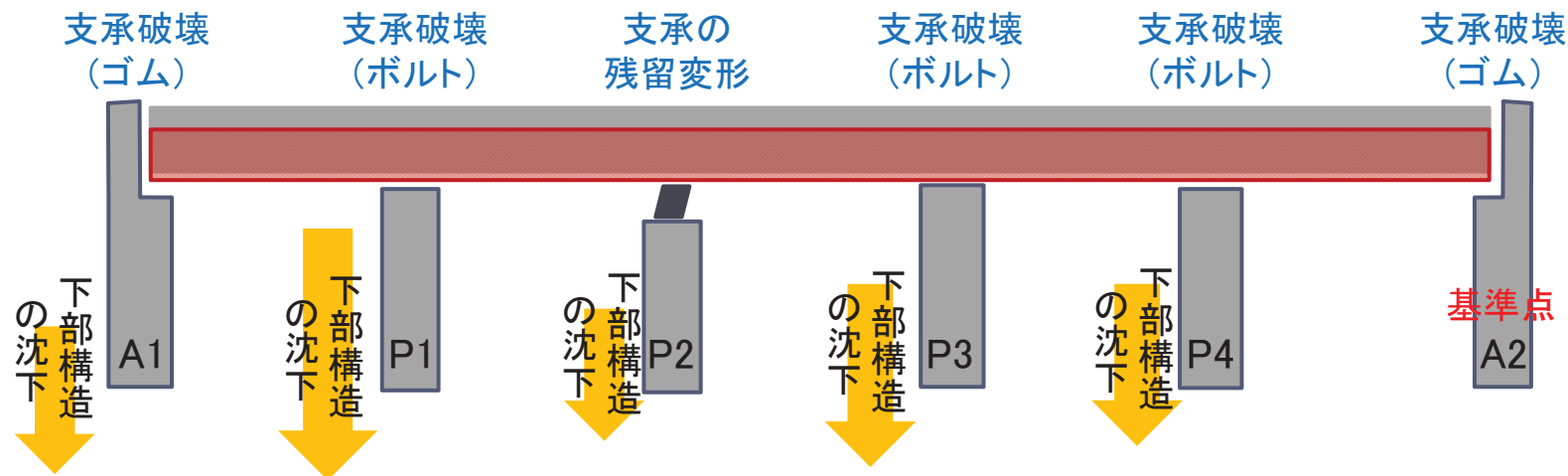


鋼橋用支承の構造例



大切畑大橋の被災要因の推定

- 地盤の変状により、各下部構造が水平方向に移動し、鉛直方向に沈下。
- 下部構造の位置によってゴム支承の破壊形態に以下の特徴
 - ・A1、A2橋台(G1～G5桁全て)：ゴム層で破断
 - ・P1、P3、P4橋脚(G1～G5桁全て)：セットボルト部で破断
 - ・P2橋脚(G1～G5桁全て)：ゴム層に亀裂や破断、あるいは、残留変位が発生
- 地震動および地盤変状(水平及び鉛直方向)両方の影響



地盤変状による被災

- 大規模な斜面崩壊による落橋事例、地盤変状による橋台の沈下等により供用性を喪失した事例も存在。必要に応じて、現行基準の配慮事項に地質・地盤調査、橋の構造形式、設置位置等の配慮事項を追記。



写真-1 橋梁周辺での大規模な斜面崩壊(上)
A2橋台側桁端部の損傷(下)
(村道栃の木～立野線・阿蘇長陽大橋)

写真-2 橋台周辺での地盤
変状による橋台の沈下
(県道熊本高森線・俵山大橋)

【参考】配慮事項の例

調査関連

斜面変状の発生の有無・規模・範囲を推定するための山地部における地盤調査に関する記載の充実

下部構造の設置位置、形式・形状

斜面変状の種類・範囲とそれに応じた下部構造の設置位置、形式・形状選定の考え方の具体例の記載

まとめ

- 斜面変状や断層変位により、落橋した事例や橋としての機能の回復が速やかにできなかった事例
- 特殊橋梁の落橋、橋としての機能の回復が速やかにできなかった事例
- 支承部の損傷、支承取り付け位置の桁の損傷
- 取り付けられる部位の損傷



CAESARの行う地震関連研究課題

- 超過外力に対する道路橋のレジリエンス技術に関する研究
- 地盤・基礎を含めた橋全体系の耐震性能評価技術及び耐震補強技術
- 既設部材への影響軽減等に配慮した耐震補強技術に関する研究
- ゴム支承の耐久性に係る品質確保のための評価手法に関する研究
- 液状化地盤における橋梁基礎の耐震性能評価方法と耐震対策技術の開発
(SIP)

