

要因は、地盤変位か振動か

～熊本地震により被害を受けた道路橋の損傷痕に基づく要因分析～

CAESAR 上席研究員 大住道生



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

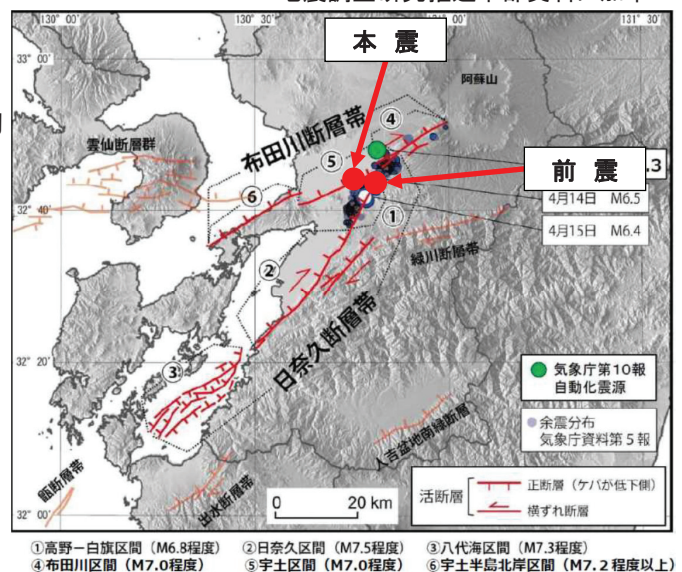


1

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
- ・ 今回の地震は比較的右横ずれが卓越。



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



2

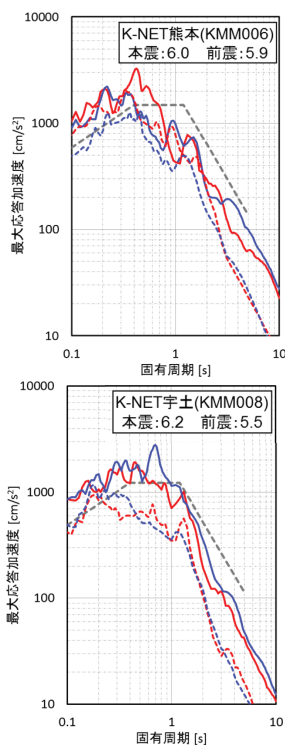
熊本地震により生じた亀裂分布と分析対象橋梁



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



代表的な地震動の加速度応答スペクトル

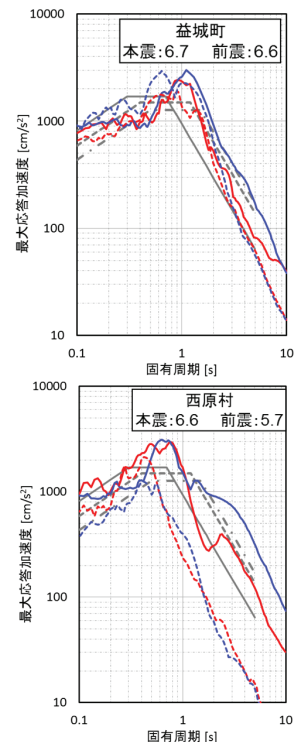


周期帯によってはレベル2地震動(タイプII)を上回る地震動が発生

※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



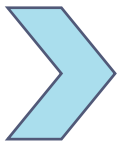
本研究の目的

平成8年の道路橋示方書に基づいて設計された橋が損傷

II
兵庫県南部地震(熊本地震と同じ内陸直下型)
の教訓を踏まえ定められた基準



なぜこのような被害が生じたのか？



損傷要因に地盤変位が影響しているかどうか分析



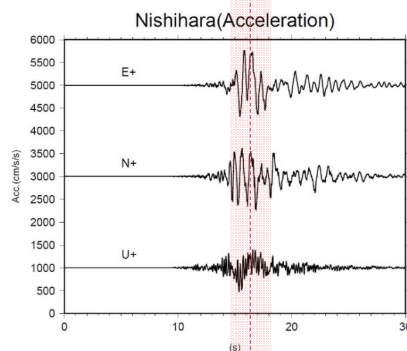
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



5

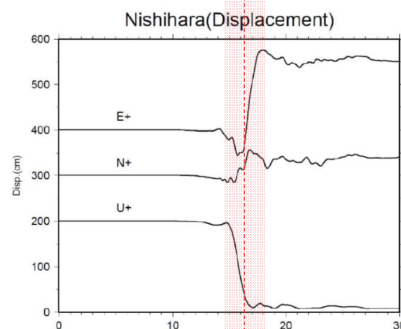
西原村小森で観測された地震動

加速度



平成28年4月16日1時25分

変位



出典:岩田知孝:益城町
宮園・西原村小森
本震記録の解析

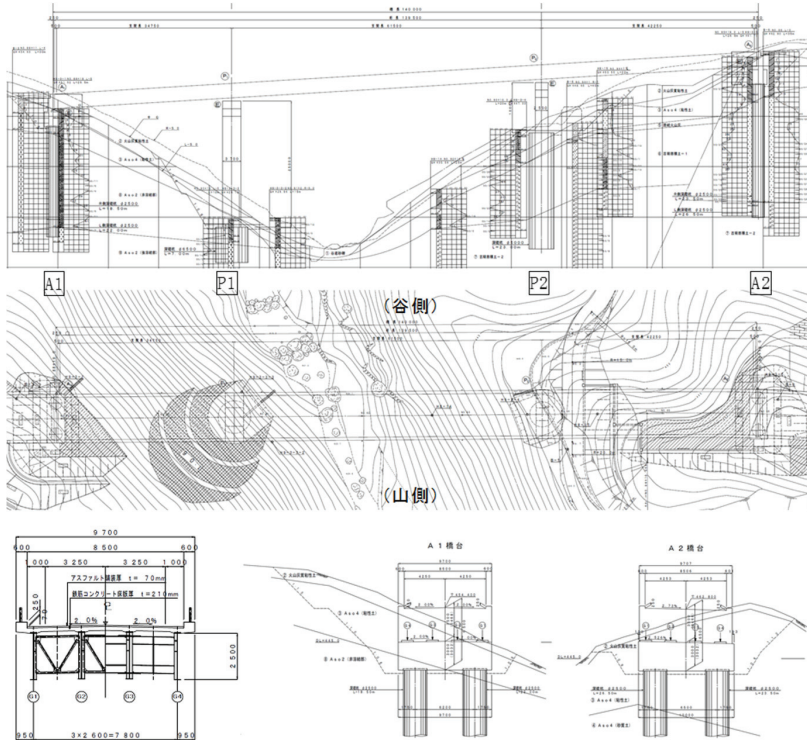


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



6

俵山大橋の構造



- ・路線名：(主)熊本高森線
- ・橋長：140.0m
- ・径間数：3径間
- ・橋梁形式：鋼鈹桁橋
- ・支承形式：水平力分散ゴム支承
- ・下部構造形式：逆T式橋台、張出し式橋脚
- ・基礎形式：深礎基礎
- ・竣工年次：2001年(H13)

熊本県提供



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



7

俵山大橋の損傷



写真-1 A1橋台背面側からの全景



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



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



8

俵山大橋の損傷



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-3 ゴム支承の破壊
(P2橋脚)

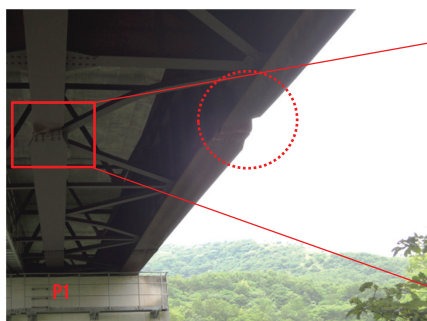
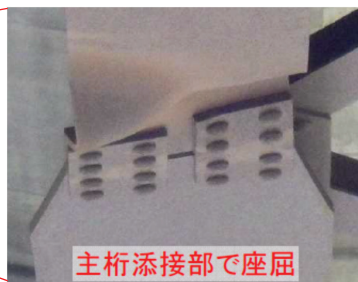


写真-4 A1-P1間での主桁の座屈



主桁添接部で座屈



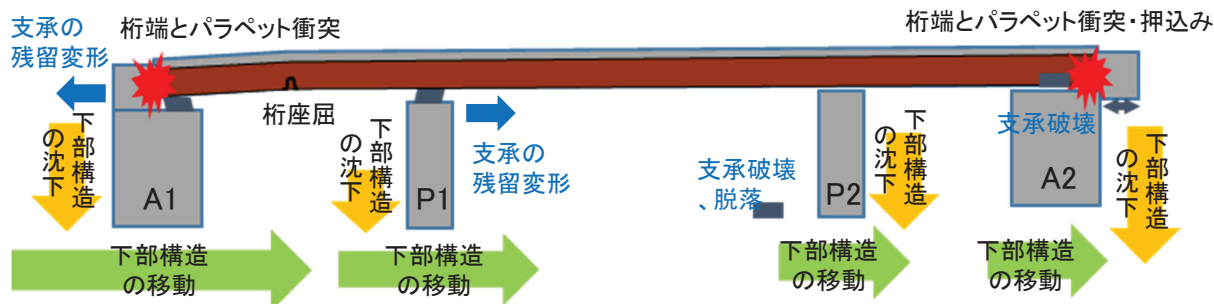
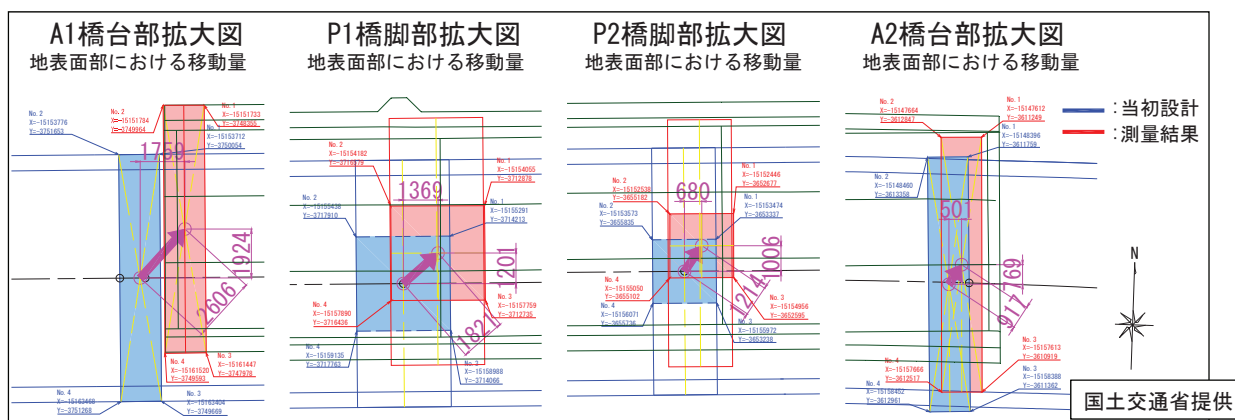
写真-5 A2橋台の損傷、G1支承の橋座からの逸脱



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



俵山大橋の測量結果



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



俵山大橋の損傷分析

A1G1支承の上沓プレートに残った擦過痕



国土交通省提供

➡ 擦過痕は振動によって生じたが、その途中で地盤変位により支承が変形したため、擦過痕が2つに分かれていると推察される



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

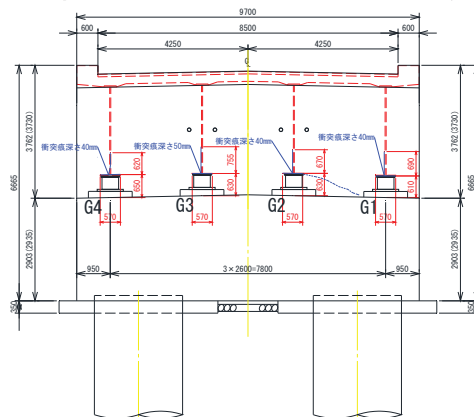


俵山大橋の損傷分析

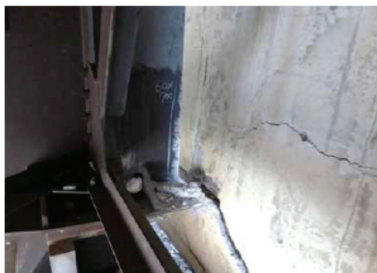
俵山大橋A1パラペットに残った衝突痕



G4



G1



G3

パラペットに残った衝突痕は桁形状と一致するも、下フランジとウェブの下方のみ



衝突時にはパラペットは既に背面側に傾いていたと推定



G2

国土交通省提供

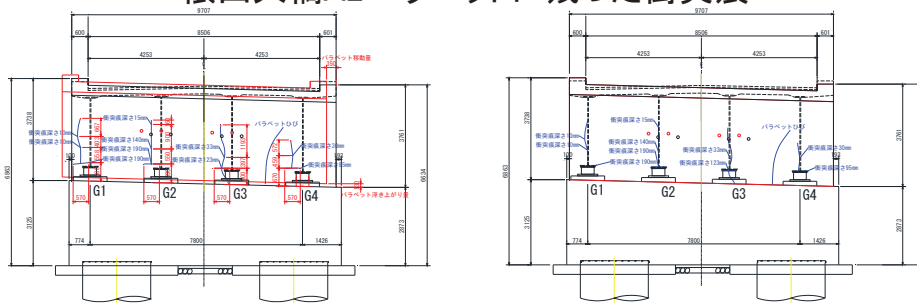


国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

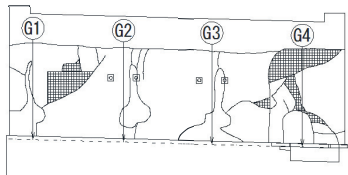


俵山大橋の損傷分析

俵山大橋A2パラペットに残った衝突痕



G1



G4



G2



G3



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



国土交通省提供

俵山大橋の支承破断要因の推定

パラペットに残った衝突痕は桁形状(下半分程度)と一致



移動したパラペットを原位置に戻すと、衝突痕の高さは支承に載った状態での桁高さとほぼ一致

= 衝突の直前には桁は支承に載った状態



G1, G3, G4桁の衝突痕にはずり落ちた痕

= 衝突時に支承に復元力が残っていれば、ずり落ちた痕はできないはず



桁がパラペットに衝突し、押し込んだのと前後して支承が破断したと推定

その時にはA1側でも桁とパラペットが接触していたと推定

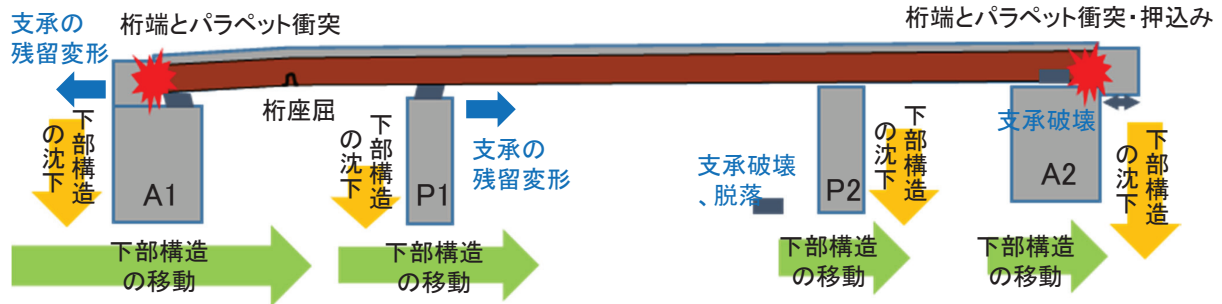
地盤変位



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



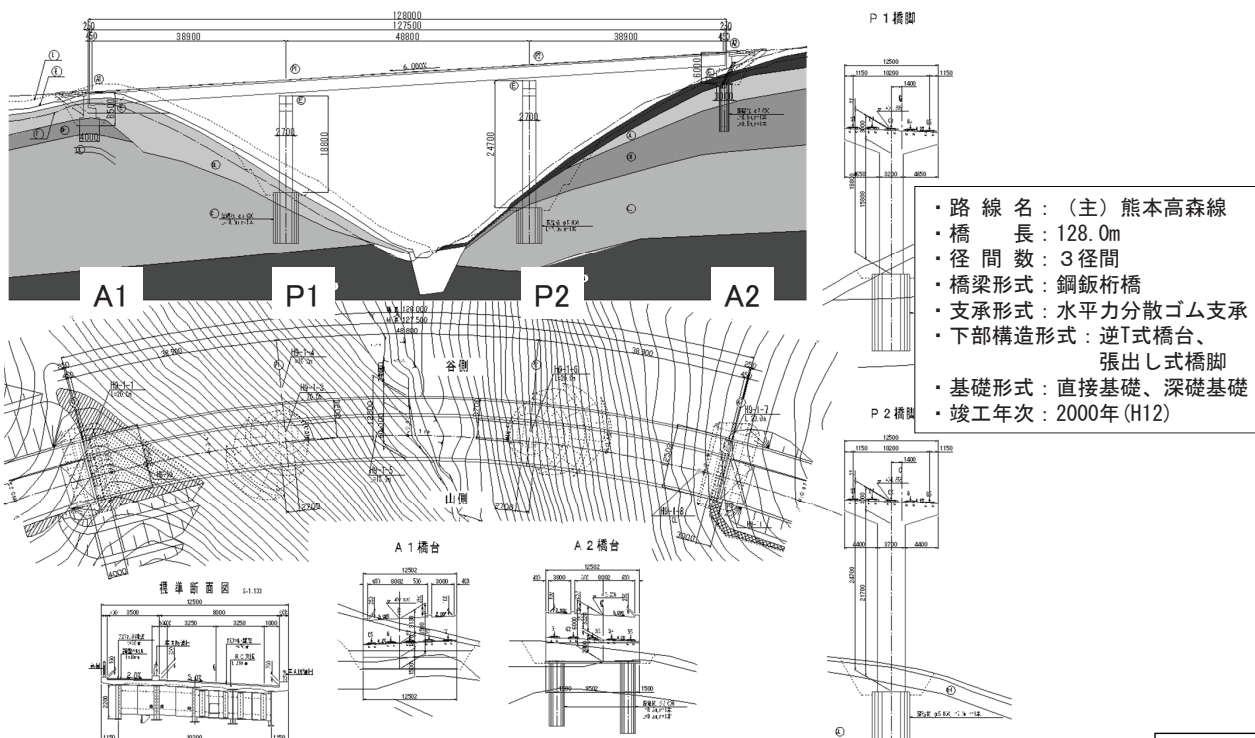
俵山大橋の損傷要因の推定



- A1-P1間の桁フランジ断面変化部で座屈。
- 振動によるA1橋台パラペットと桁の衝突によりA1-P1間の桁が座屈したのか？
→A1側の桁端部の損傷が軽微であることから、桁に座屈するような力が伝わったとは考えにくい。
- A1橋台とP1橋脚が逆位相になったことにより、桁が座屈するほどの圧縮力がかけり得るか？→P1橋脚には目立った損傷がないことから、桁が座屈するほどの応答が生じたとは考えにくい。
- 地盤変位により、A1-A2間距離が縮小したことにより、両橋台から作用した圧縮力をA1側は支承と桁で分担した可能性。
- 下部構造の沈下により大きな曲げモーメントが作用した可能性。



扇の坂橋



扇の坂橋



写真-1 扇の坂橋



写真-2 A1橋台ゴム支承上
の下フランジの変形



写真-3 A1橋台の横変
位拘束構造の損傷

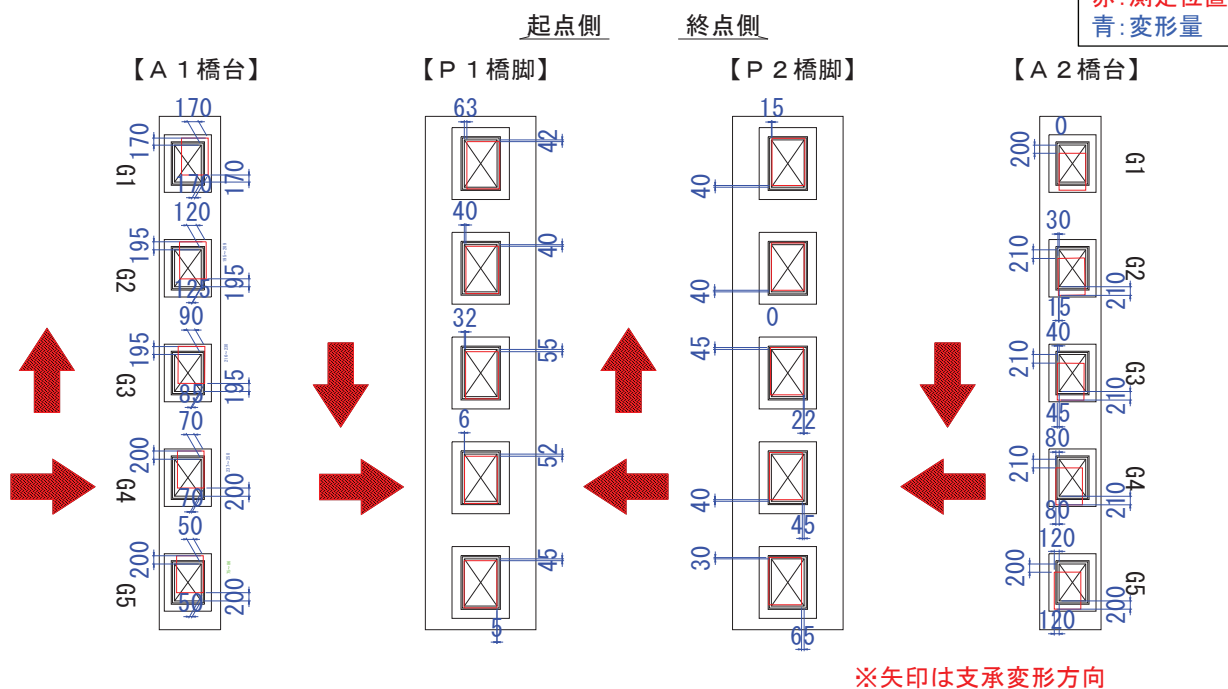


扇の坂橋



扇の坂橋の測量結果

扇の坂橋の各下部構造上の支承の残留変形



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



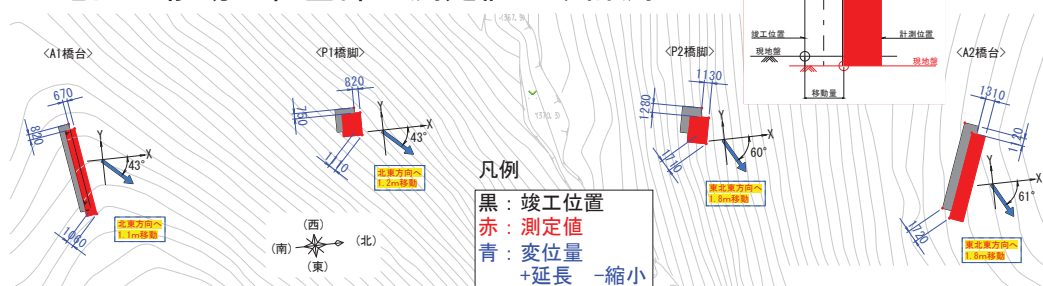
国土交通省提供

19

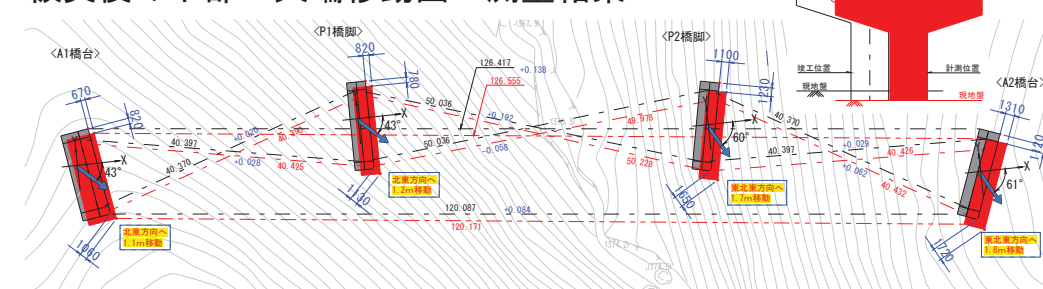
扇の坂橋の測量結果

〈被災後の地山移動図：測量結果〉

地山の移動は柱基部の測定値より計測



〈被災後の下部工天端移動図：測量結果〉



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

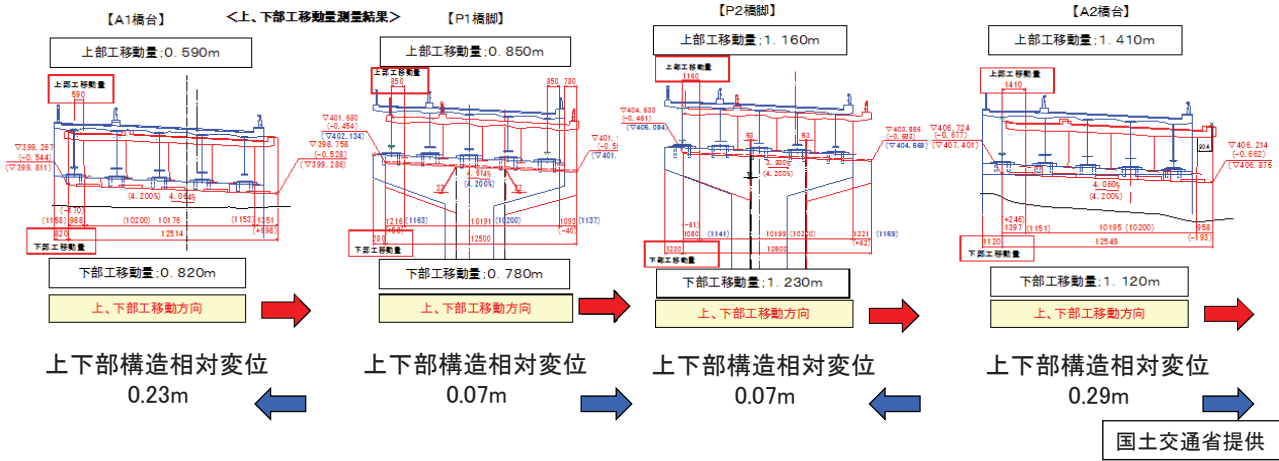


国土交通省提供

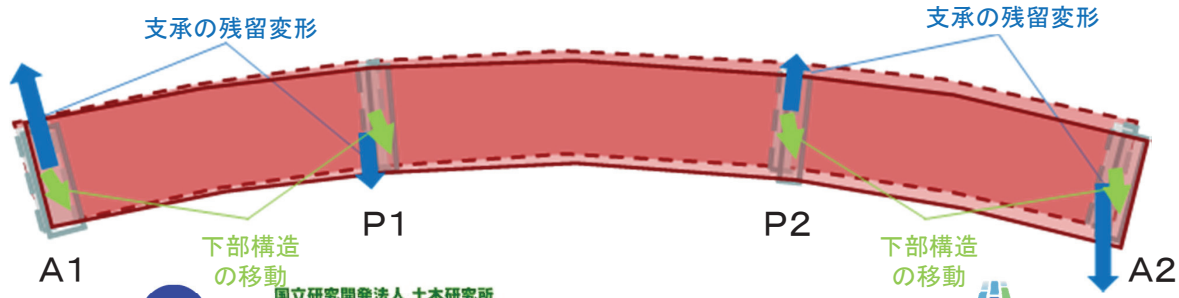
20

扇の坂橋の測量結果

— 竣工図座標値
— 震災後計測値

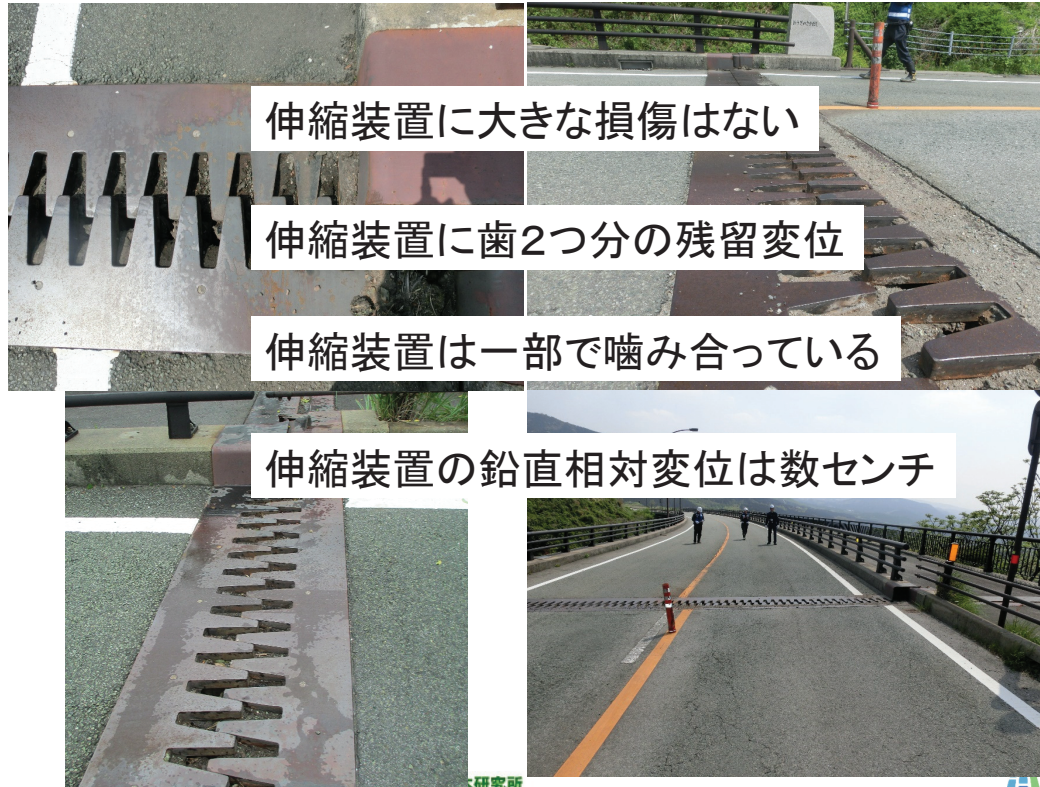


国土交通省提供



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

扇の坂橋の損傷状況



A1橋台上の伸縮装置

A2橋台上の伸縮装置

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

扇の坂橋の損傷状況



23

扇の坂橋の損傷要因の推定

- RCブロックのせん断破壊はブラケットの緩衝ゴムとの衝突によるものと考えられる
- 伸縮装置がほとんど損傷していない状態で、RCブロックとブラケットの緩衝ゴムが衝突するためには、伸縮装置のかみ合わせが外れる必要。
- ブラケットが当たったと考えられる位置を考慮すると、伸縮装置は引張方向に外れたと考えられる。
- ここで、下部構造の移動を考えなければ、A1側の伸縮装置が伸びれば、A2側の伸縮装置は縮むはず。
- 伸縮装置の圧縮側遊間は105mmであり、ブラケットのゴム幅150mmと比べると、下部構造の移動を考えなければ説明できない。
- 伸縮装置の残留変位およびRCブロックのせん断破壊は、地盤変位の影響によるものと推定される。

24

大切畑大橋



写真-1 大切畑大橋全景



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



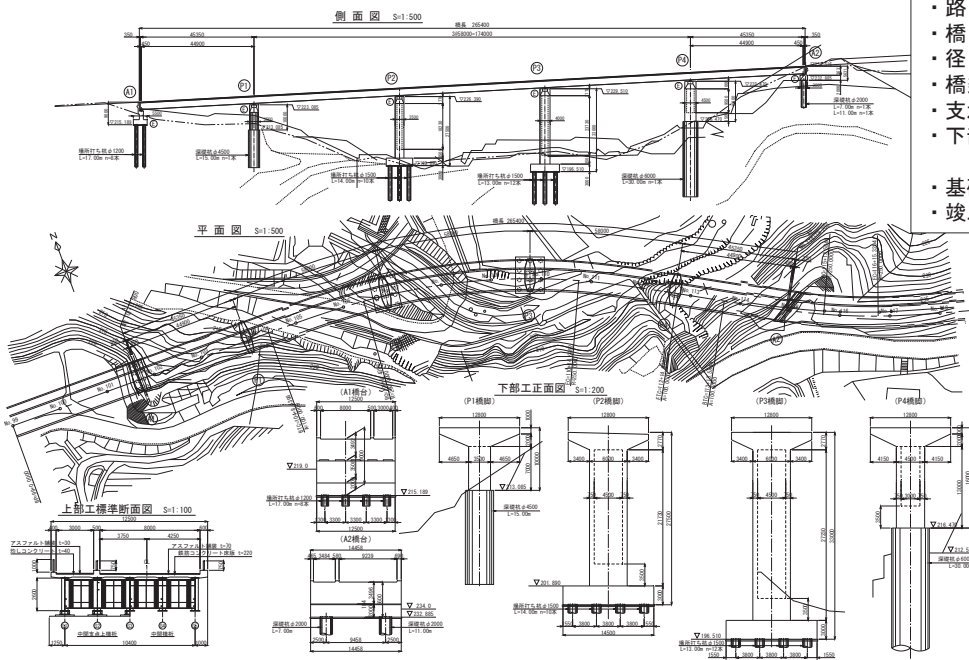
写真-5 P2橋脚のひび割れ



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



大切畑大橋



- ・路線名：(主) 熊本高森線
- ・橋長：265.4m
- ・径間数：5径間
- ・橋梁形式：鋼鈹桁橋
- ・支承形式：水平力分散ゴム支承
- ・下部構造形式：逆T式橋台、張出し式橋脚
- ・基礎形式：場所打ち杭、深礎杭
- ・竣工年次：2001年(H13)

熊本県提供



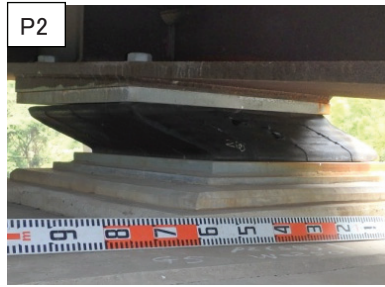
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



大切畑大橋の支承の損傷



ゴム部分又は接着層が破断



残留変形



取り付けボルトが破断



取り付けボルトが破断



取り付けボルトが破断



ゴム部分又は接着層が破断

写真-1 ゴム支承の損傷状態

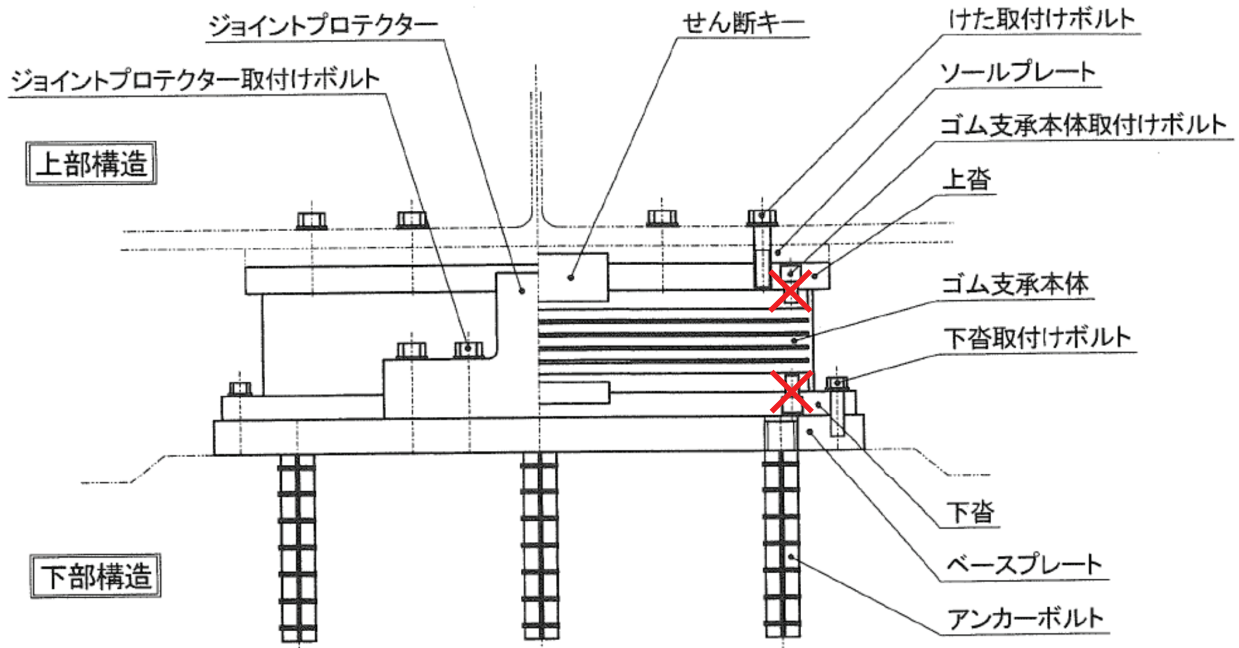


国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



国土交通省提供

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

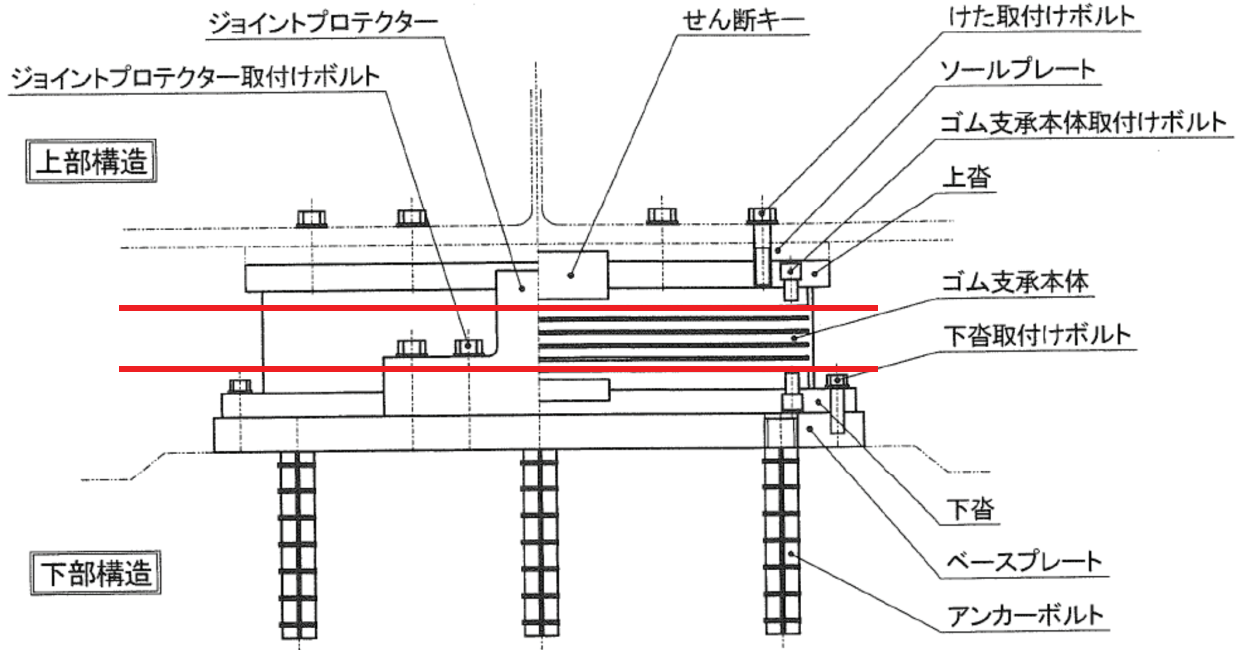


国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



ゴム支承の鋼材部の設計標準
 (案):(社)日本支承協会、ゴム支
 承協会 に加筆

大切畑大橋の支承の破壊箇所 (A1,A2)



鋼橋用支承の構造例

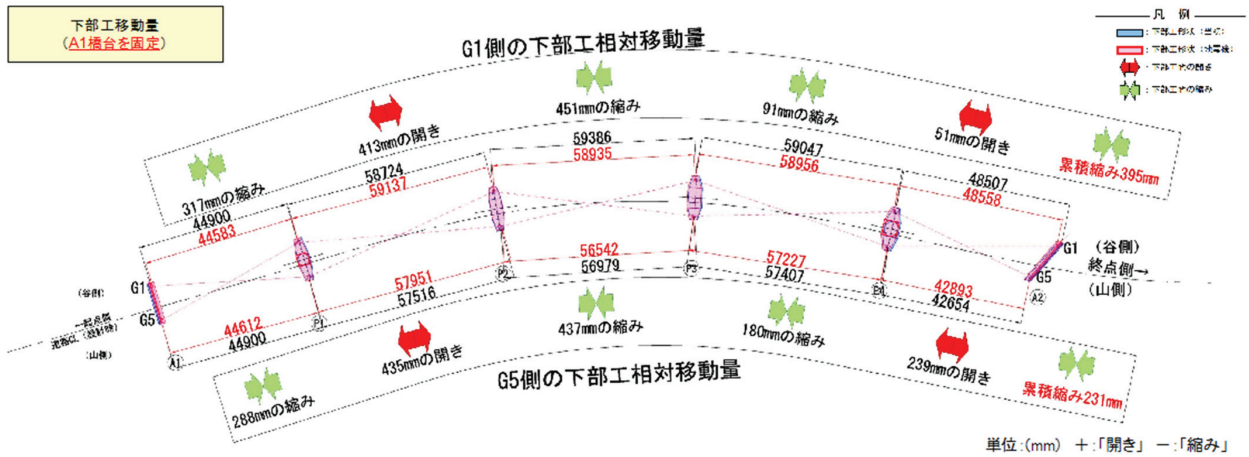


国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

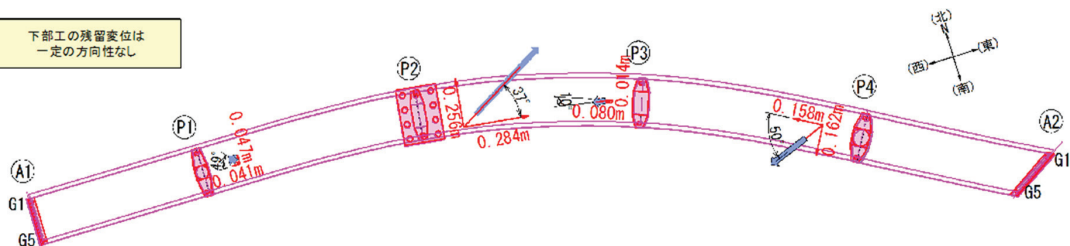


ゴム支承の鋼材部の設計標準
 (案):(社)日本支承協会、ゴム支
 承協会 に加筆

大切畑大橋の測量結果



下部工の残留変位は一定の方向性なし



国土交通省提供

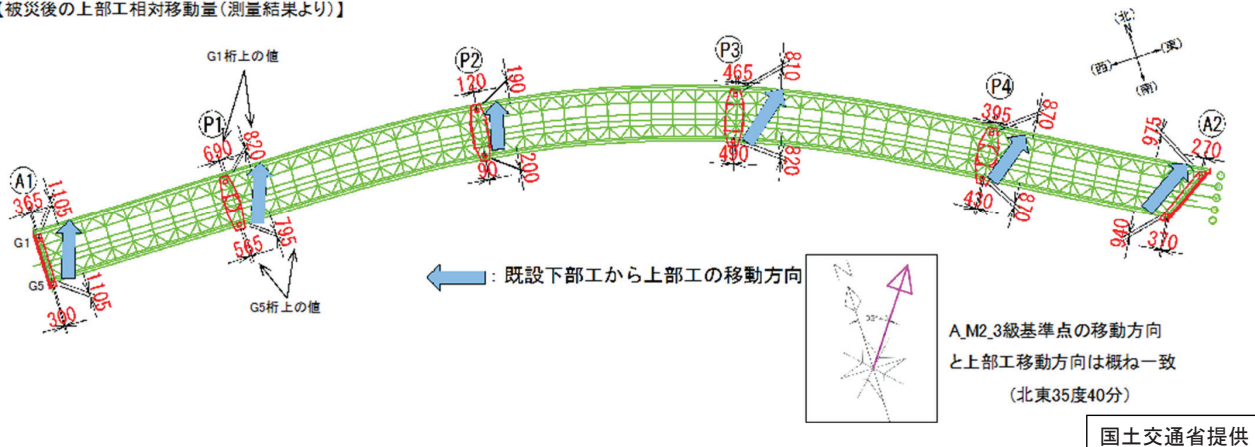


国立研究開発法人 土木研究所
 構造物メンテナンス研究センター
 CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



大切畑大橋の損傷要因の推定

【被災後の上部工相対移動量(測量結果より)】



- 上部構造は、下部構造に対して相対的に北東方向に移動
- P2橋脚は地表面位置での水平変位と残留傾斜の両方の影響で北東方向に移動
- その影響でP2上の支承の残留変形は232～264%のひずみに収まったと思料
- その他の下部構造においては、上下部相対変位が約4～5倍



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



31

まとめ

- 熊本地震で被災した道路橋のうち、主要地方道熊本高森線で平成8年道路橋示方書に基づいて耐震設計された橋である俵山大橋、扇の坂橋、大切畑大橋について、特に地盤変位に着目して被害の分析を行った。
- 地盤変位の影響によると推定される被害が見られることを確認した。
- 少なくとも地震時の地盤変位により下部構造が追従して移動し、これに伴って下部構造だけでなく、支承部や上部構造にも損傷が生じる状況となった可能性があることが明らかになった。
- このような被災経験を踏まえ、今後道路橋の建設に当たっては、地震時地盤変位が生じる可能性を適切に調査した上で、橋に及ぼす影響を最小化できるよう、路線計画や構造計画の各段階において適切な検討を行っていく必要があると考えられる。



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



32