

熊本地震による道路構造物の被害と 復旧への技術的支援

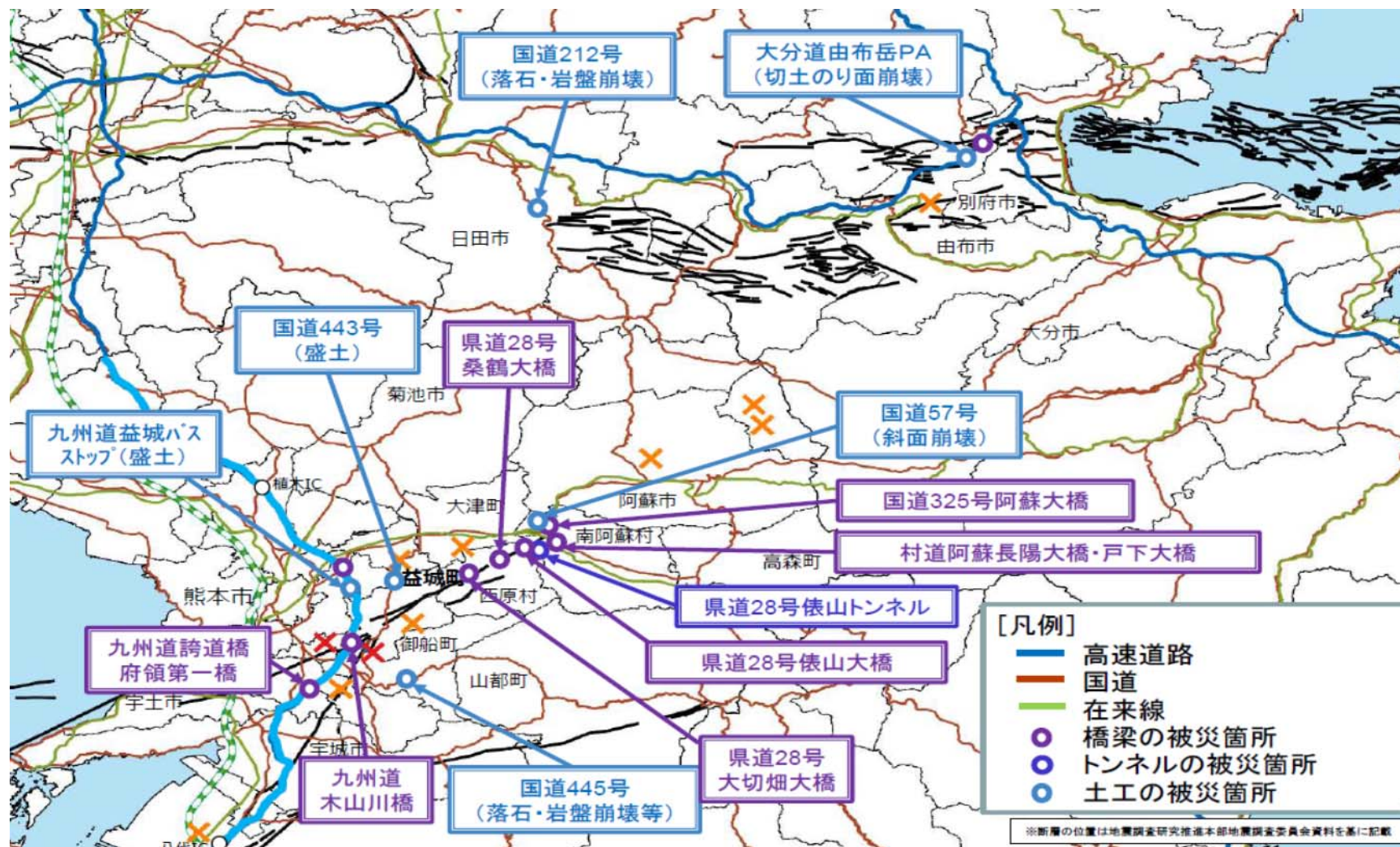
平成28年12月8日

平成28年度 国総研講演会



国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部長 木村嘉富

道路の主な被災状況

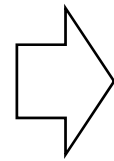


出典: 社会資本整備審議会道路分科会第54回基本政策部会資料

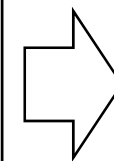
道路インフラの復旧

<高速道路の復旧>

4/16 1:25(発災時)
7路線 599km通行止め



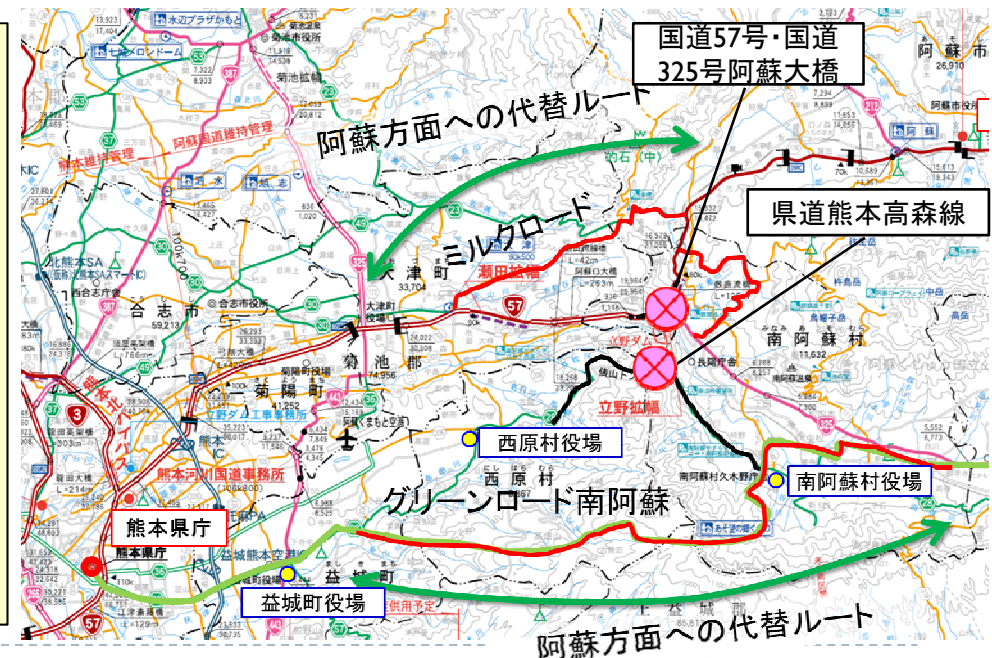
4/29までに
九州道 一般開放
残り:1路線17km



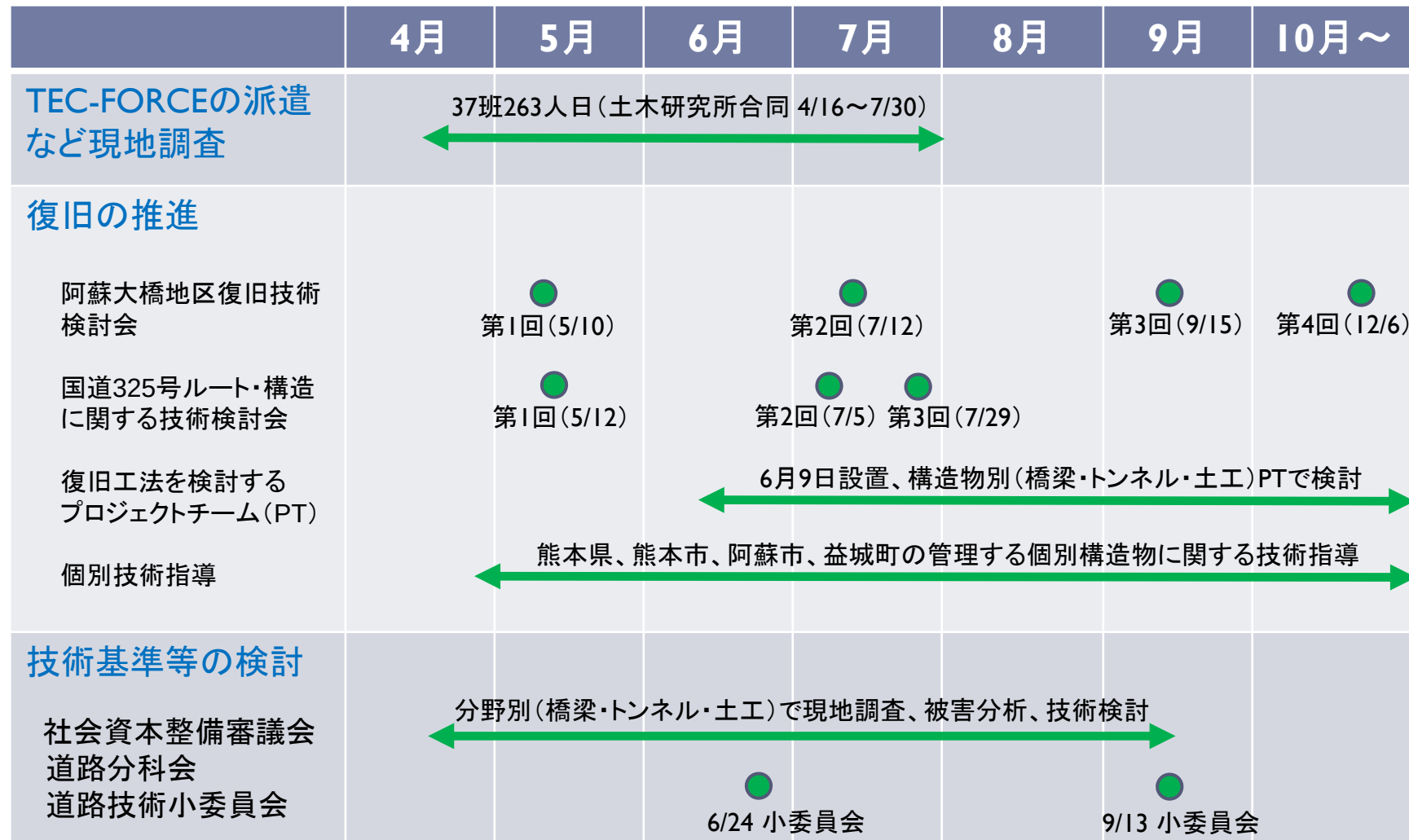
5/9
大分道 湯布院IC～日出
JCT 一般開放
全線一般開放

<一般道路:国道57号、国道325号阿蘇大橋等の代替路確保>

- 4月18日(月)「ミルクロード」一般開放(4t未満の車両のみ)。
⇒国道57号の迂回路として活用
- 4月22日(金)「グリーンロード南阿蘇」大型車利用可能に。
⇒熊本市内から南阿蘇地域への東西経路を確保
- 5月23日(月)国道325号(阿蘇大橋)の応急的な迂回路を確保
⇒阿蘇市側から南阿蘇村へ大型車の通行時間を約25分短縮(75分→50分)



国総研の活動



既往地震による橋梁被害と設計基準の変遷

1923 関東地震 ($M_j = 7.9$)

1924 設計において地震の影響を考慮

1939 鋼道路橋設計示方書案
震度法による耐震計算

1964 新潟地震 ($M_j = 7.5$)

1971 道路橋耐震設計指針



既往地震による橋梁被害と設計基準の変遷

1978 宮城県沖地震 ($M_j = 7.4$)

1980 道路橋示方書V耐震設計編

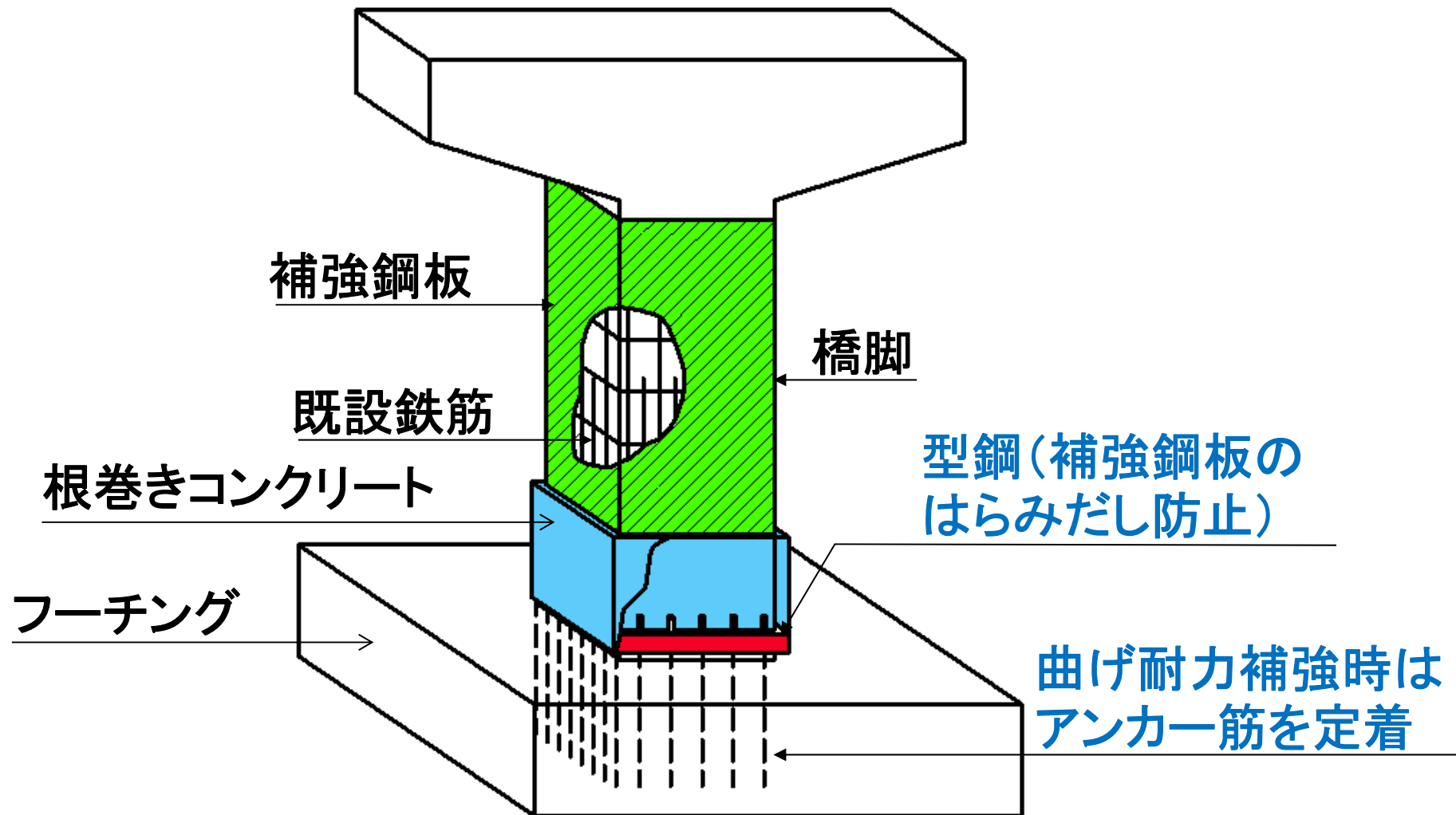
1995 兵庫県南部地震 ($M_j = 7.2$)

1995 道路橋の復旧に係る仕様

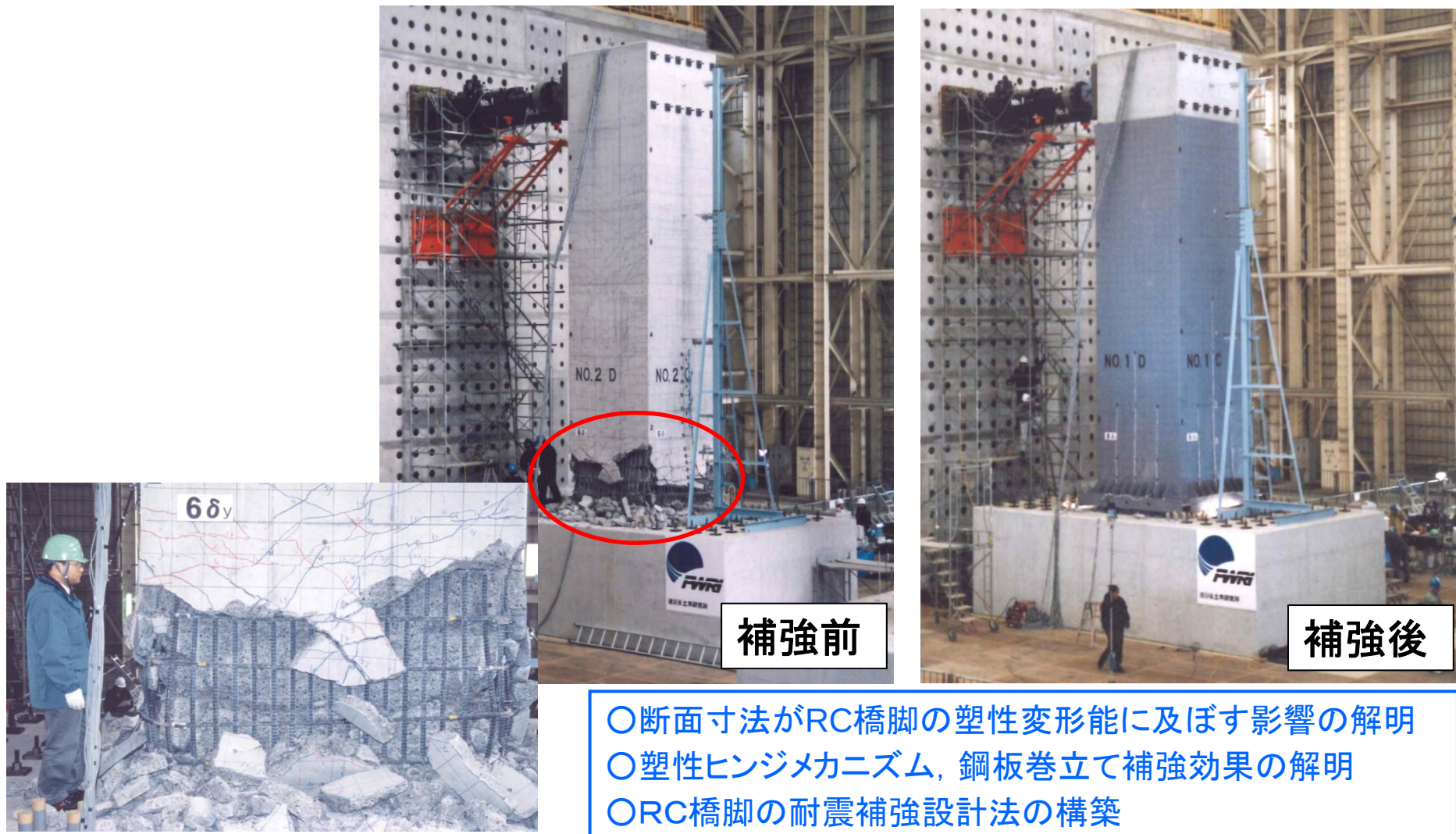
1996 道路橋示方書V耐震設計編 改訂



耐震補強法（曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法）



実大橋脚による耐震補強効果の検証



既往地震による橋梁被害と設計基準の変遷

平成14年以降の主要な被害地震

2003年宮城県北部の地震（M6.4, 震度6強）

2003年十勝沖地震（M8.0, 震度6弱）

2004年新潟県中越地震（M6.8, 震度7）

2005年福岡県西方沖の地震（M7.0, 震度6弱）

2007年能登半島地震（M6.9, 震度6強）

2007年新潟県中越沖地震（M6.8, 震度6強）

2008年岩手・宮城内陸地震（M7.2, 震度6強）（祭時大橋の落橋）

2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0, 震度7）（津波による被害）



撮影：株式会社パスコ/国際航業株式会社
（写真提供：株式会社パス

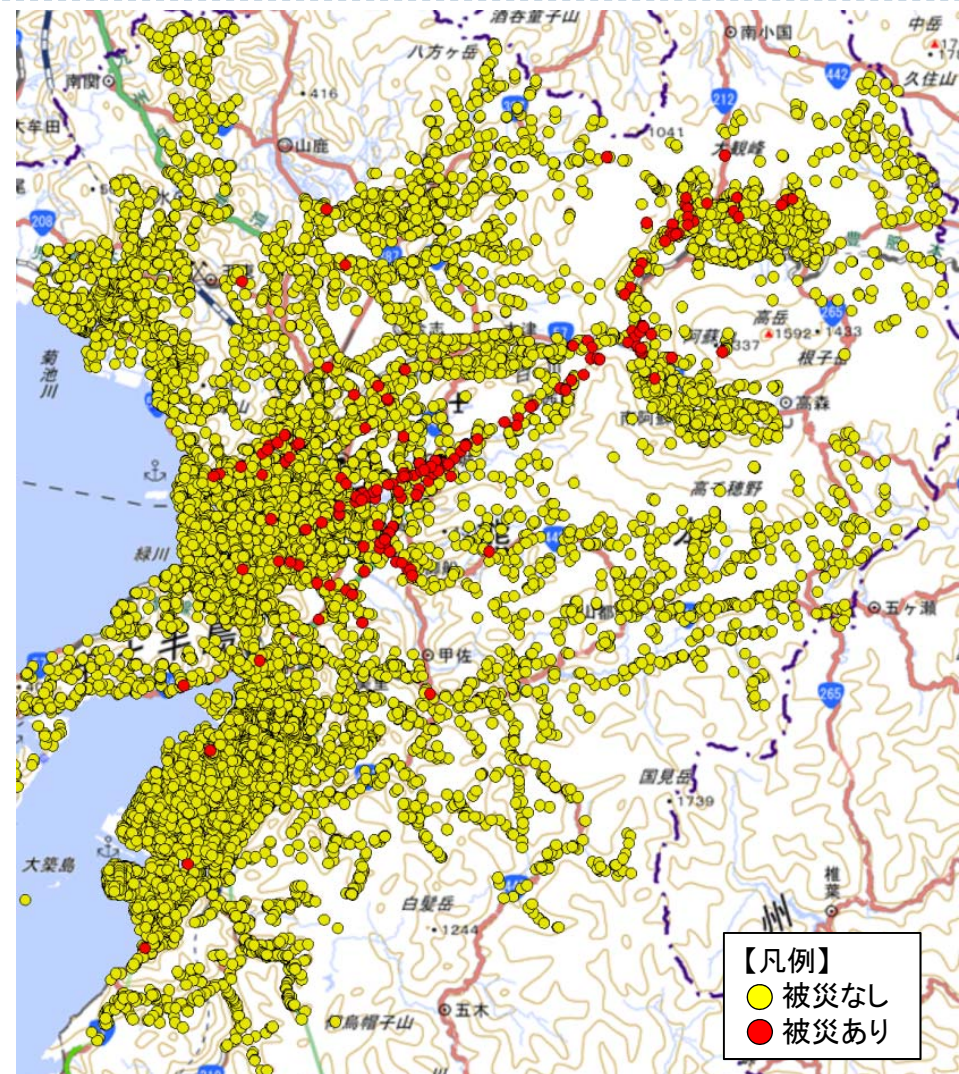
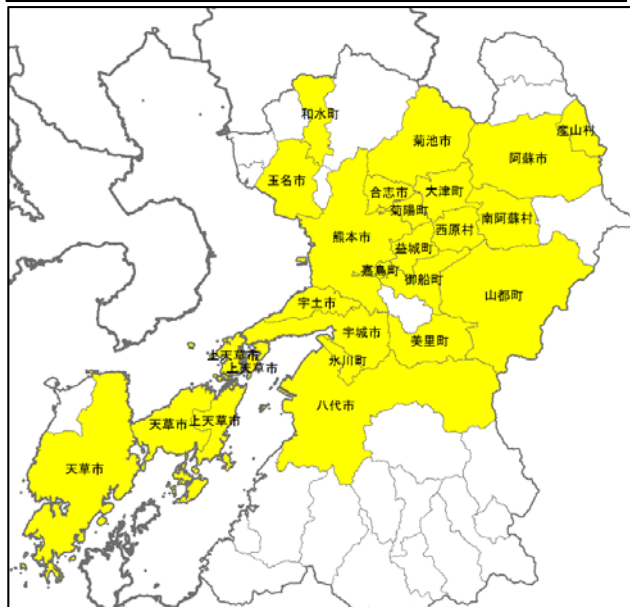


橋梁の被害の概要

震度6弱以上を観測した地域での
橋梁数、被災橋梁数

	計
橋梁数	15,689
被災橋梁数	182

熊本県内の震度6弱以上を観測した地域



橋梁の被災状況

耐震補強の効果の検証

【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)



国道3号 跨線部

国道3号の橋梁では、耐震補強の実施により、損傷は限定的であった。



阿蘇口大橋
(国道57号)

支承が損傷したものの、アンカーバーによる補強により、損傷は軽度であった。



アンカーバーのイメージ



支承の破損の状況

【耐震補強が未実施で被害を受けた事例】



段落し部の損傷
市道(1-3)中央線・中央線陸橋

【土木学会会長特別調査団 調査報告】
(H28.4.30)

- ・兵庫県南部地震などの過去の地震被害を教訓に、耐震設計基準の改定、耐震補強などを進めてきた。
- ・今回の地震被害を見ると、この成果が着実に効果をあげていることが確認された。

耐震補強の効果の検証



支承部の損傷及び橋脚の傾斜
(九州自動車道・木山川橋)



支承部の損傷に伴う桁端部の浮き上がり
(県道熊本高森線・桑鶴大橋)



地図：国土地理院地図

緊急輸送道路の橋の耐震性能の発揮状況
(熊本県内で震度6弱以上を観測した主な地域)

ロッキング橋脚を有する橋梁の落橋

被災した跨道橋

橋梁名	管理者	跨道橋下路線名	主な被害の状況
ふりょう 府領第一橋	熊本県	九州自動車道	落橋(ロッキング橋脚)
ひとつばし 一ツ橋側道橋	熊本県	九州自動車道	鋼桁のずれ(支承損傷、段差発生)
こうぞの 神園橋	熊本市	九州自動車道	橋脚傾斜(ロッキング橋脚)
ひむき 日向二号歩道橋	熊本市	九州自動車道	橋脚損傷

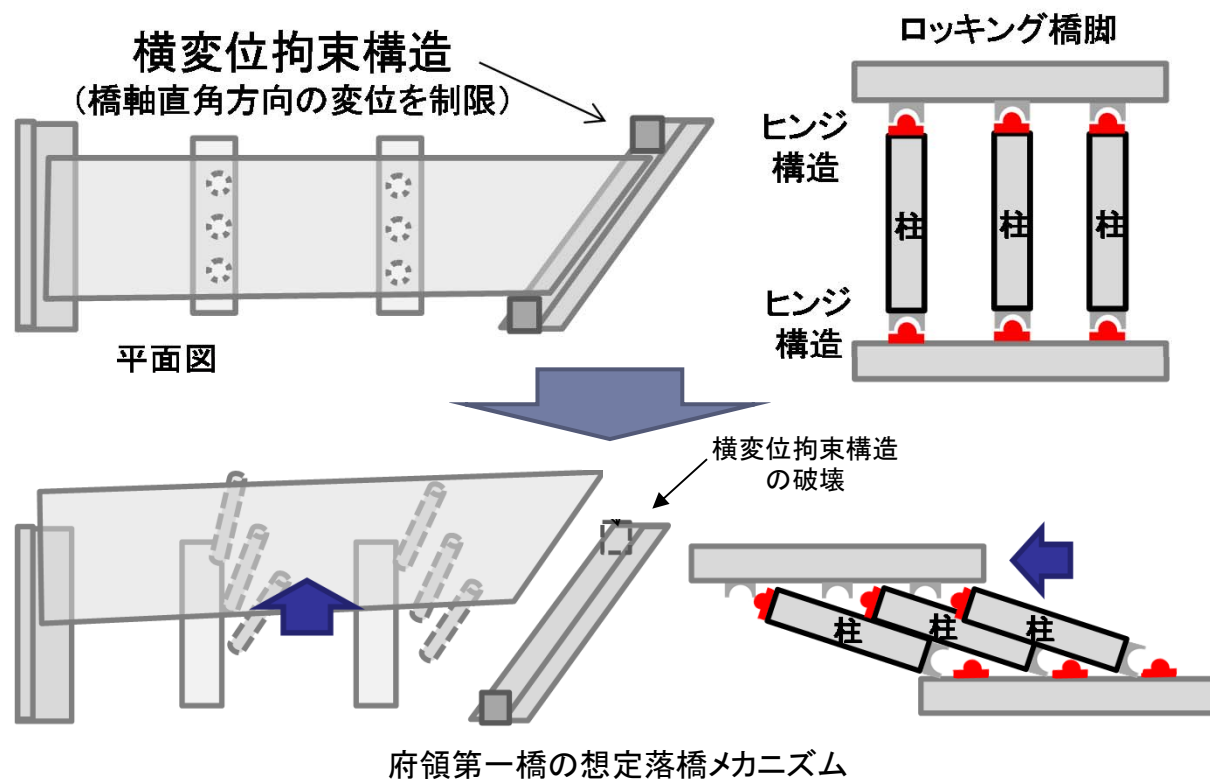


府領第一橋(落橋前)

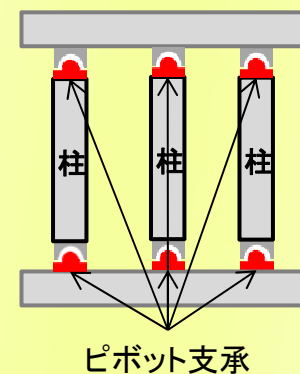


横変位拘束構造の破壊、落橋
(県道小川嘉島線・府領第一橋)

ロッキング橋脚を有する橋梁の落橋



- ・上下端にピボット支承が取り付けられた橋脚(両端ヒンジ構造)
- ・ピボット支承は鉛直力支持機能と回転機能を有する構造(水平力支持機能を有さない)

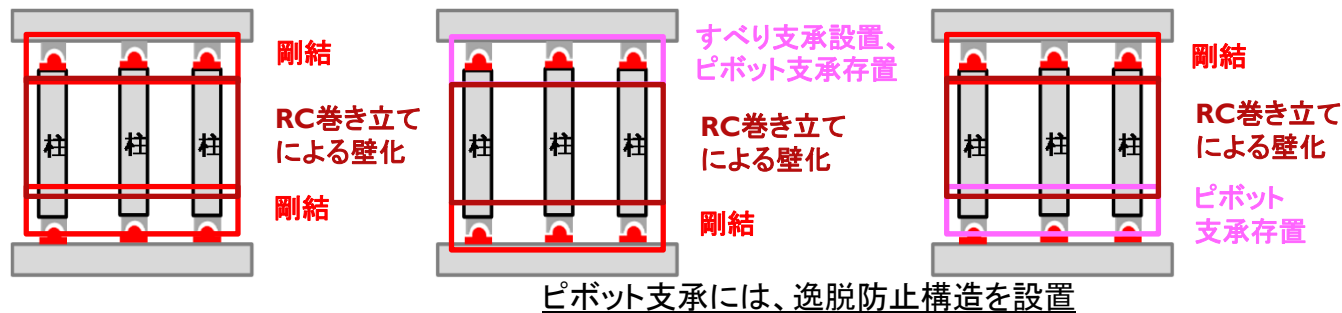


ロッキング橋脚

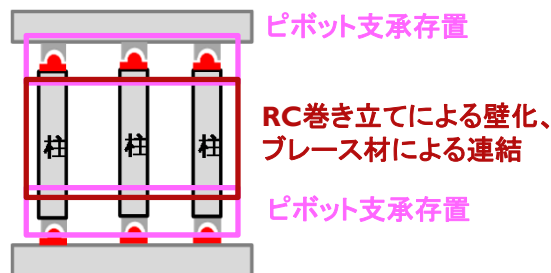
ロッキング橋脚の耐震補強の考え方

○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



ピボット支承には、逸脱防止構造を設置

橋軸方向の抵抗力は別途確保が必要



兵庫県南部地震以降の基準を適用した道路橋の被害



兵庫県南部地震以降の基準を適用した道路橋のうち、目標とした耐震性能が達成できなかった橋の位置図

地盤変状による被災

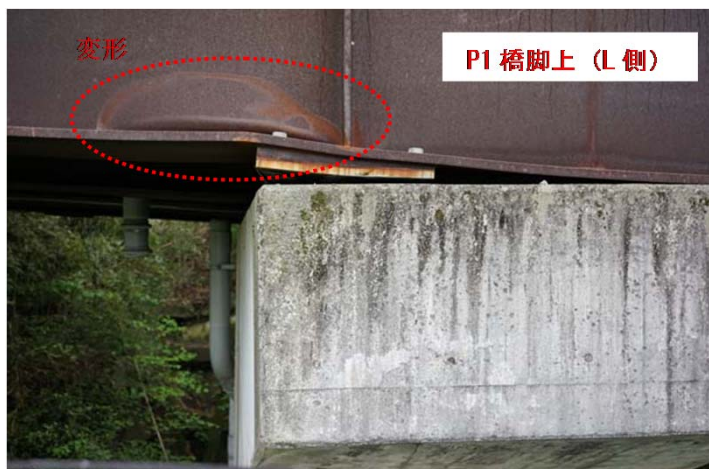


橋梁周辺での大規模な斜面崩壊(上)
A2橋台側桁端部の損傷(下)
(村道栃の木～立野線・阿蘇長陽大橋)



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)

被災状況調査：ドローン活用



兵庫県南部地震以降の基準を適用した道路橋の被災要因の推定

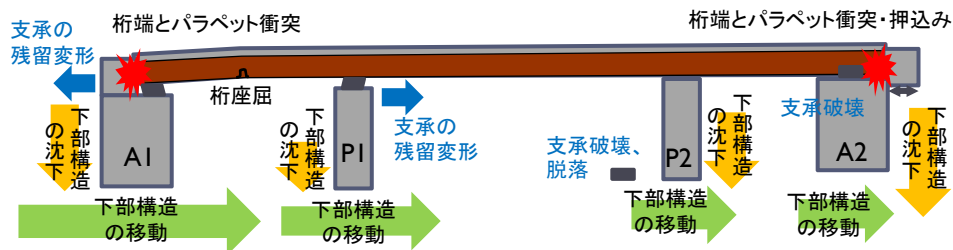


図-1 俵山大橋の損傷概要



写真-1 橋台の沈下
(俵山大橋A1橋脚)



写真-2 ゴム支承の破壊
(俵山大橋P2橋脚)



写真-3 パラペット・ゴム
支承の破壊(俵山大橋
A2橋台)

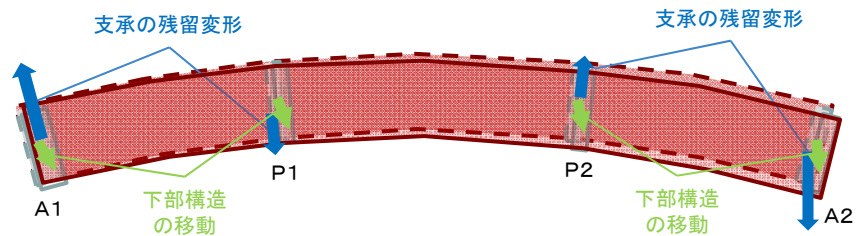


図-2 扇の坂橋の上部構造・下部構造の移動及び支承の残留変形
(破線:地震前、実線:地震後)



写真-4 ゴム支承の残留変形(扇の坂橋A1橋台)

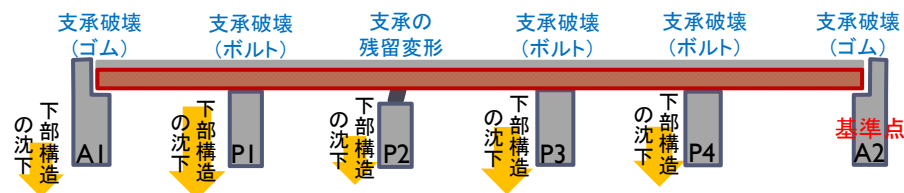
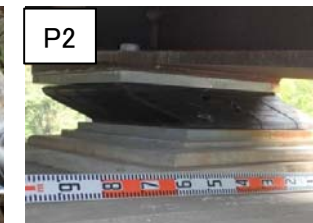


図-3 大切畑大橋の下部構造の沈下及び支承の損傷状況



写真-5 各下部構造で異なるゴム支承の破壊形態(大切畑大橋)



地盤変状による被災への対応

- 大規模な斜面崩壊により落橋した事例、橋台の沈下等により通行止めが生じた事例が存在
- 地盤変状による影響の軽減に配慮した**構造形式の選定**や、**下部構造の設置位置、形式・形状の選定**に関する基準適用上の留意点を通知

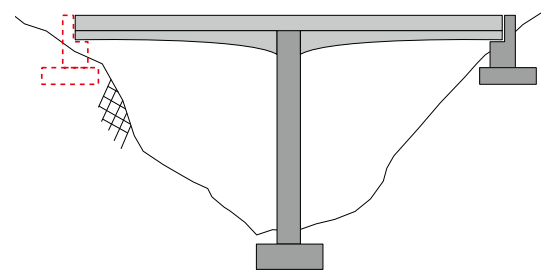
①橋の構造形式の選定への配慮

斜面変状の影響により橋台の沈下が生じたが、橋本体が保有する構造特性により自立した状態を保持できた例あり



[阿蘇長陽大橋]

張り出し施工により架設されたラーメン橋では、橋台による支持を失っても自立



斜面変状の影響の軽減に配慮した構造形式の例

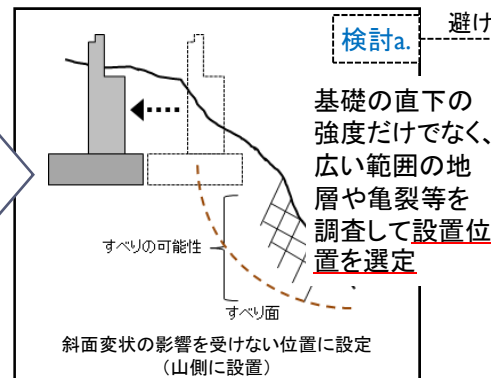
地盤変状による被災への対応

②下部構造の設置位置、形式・形状の選定への配慮

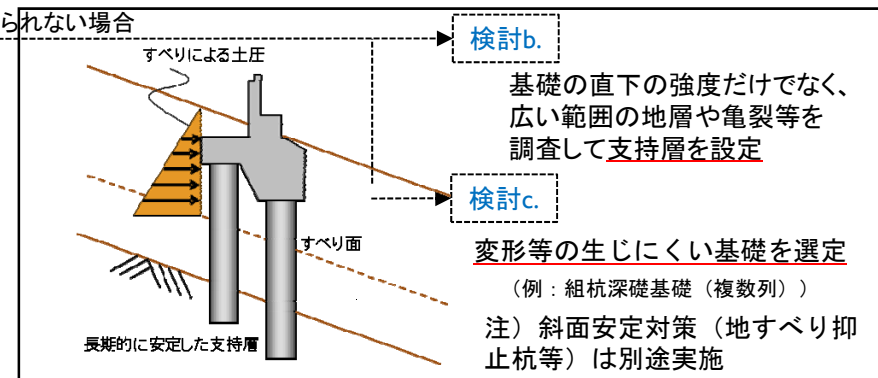
※まずa.について検討し、避けられない場合はb.およびc.について検討



橋台の沈下により
通行止めが発生



下部構造の設置位置に関する
留意点



基礎の支持層の設定及び基礎形式・形状の選定に関する留意点

国道325号阿蘇大橋架け替え



設計の意図と異なる壊れ方をした橋の被害

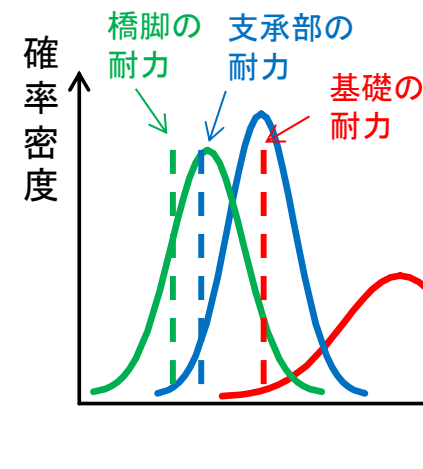


曲線橋のゴム支承等の破断
(県道熊本高森線・大切畑大橋)

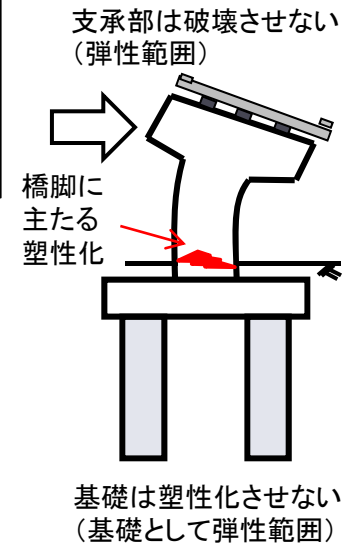


ダンパー取付部の損傷
(国道325号・南阿蘇橋)

地震後の点検がしやすく、
復旧もしやすい部材に損
傷を確実に誘導するた
めの設計法を導入



各部材の設計上の耐荷力

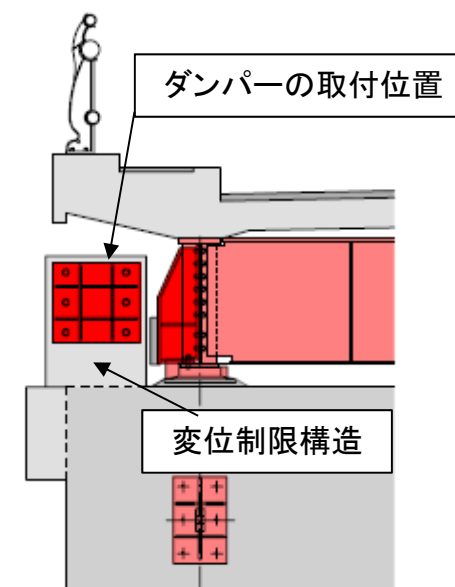


制震ダンパーの取り付け部の被災への対応

- 耐震補強のために設置された変位制限構造が下部構造との接続部で損傷し、当該変位制限構造に取り付けられていた制震ダンパーが機能しない状態に至った事例が存在
- 制震ダンパー等の別部材によって支承部の減衰機能を確保する場合は、当該制震ダンパーの機能が確実に発揮されるよう、それが取り付けられる上下部構造の部位はできるだけ地震時に損傷が生じないように留意することを通知



制震ダンパー接合部(変位制限構造への取付)の損傷(国道325号・南阿蘇橋)



制震ダンパーの取付位置
(国道325号・南阿蘇橋)

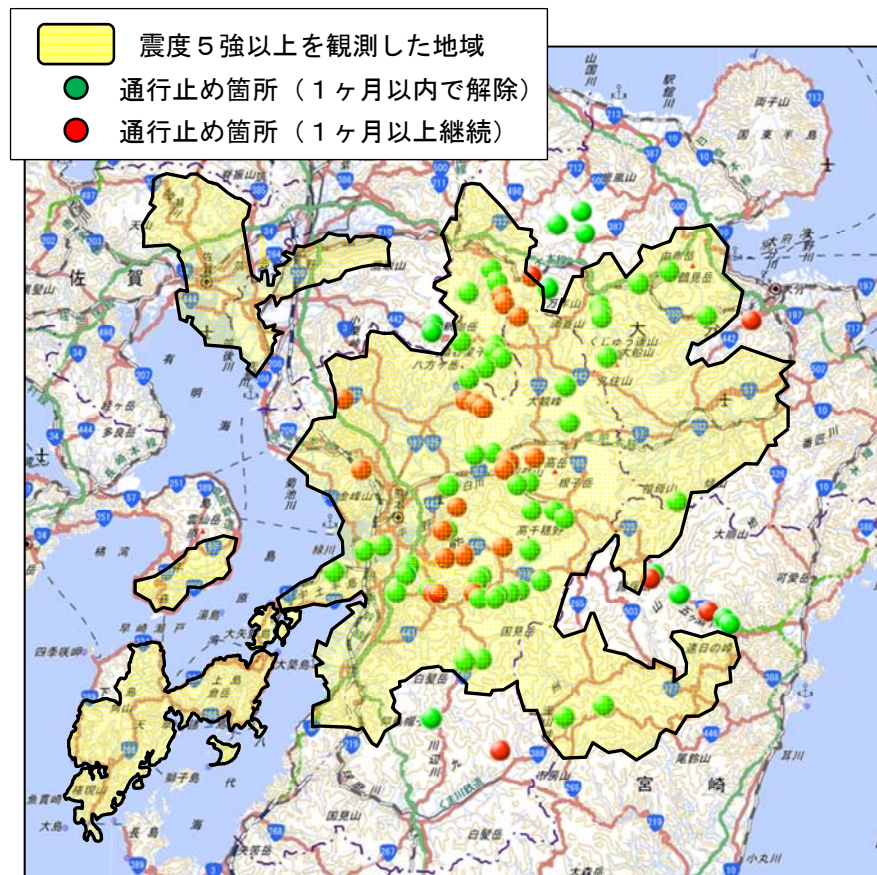
土工関係被害の概要

地震直後（最大）事象別通行止め箇所数

（単位：箇所）

事 象	緊急輸送 道路	緊急輸送 道路以外	計
土 工	46 (50%)	47 (50%)	93
斜面崩壊	40 (51%)	38 (49%)	78
切土のり面崩壊	4 (44%)	5 (56%)	9
盛土崩壊	2 (33%)	4 (67%)	6

※ 高速道路については、通行止区間の主要な被害を計上
 ※ 災害報告より集計



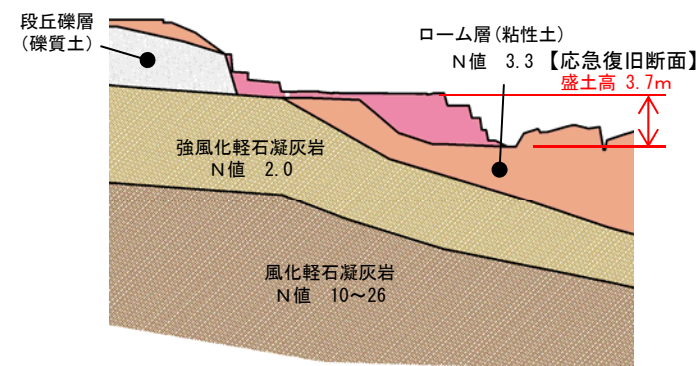
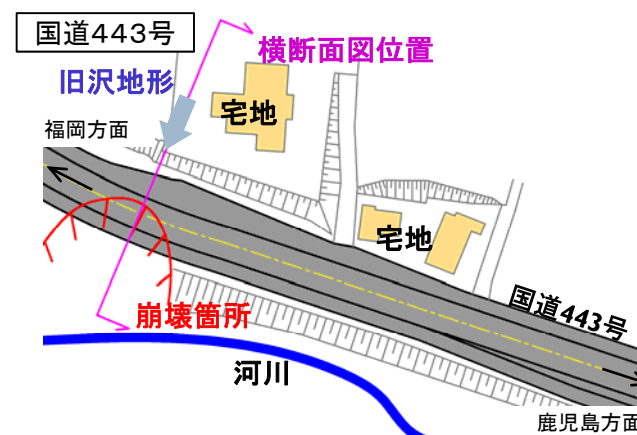
土工関係被災による通行止め箇所（93箇所）

盛土崩壊

- 集水地形上の盛土や水辺に隣接する箇所に構築した盛土が崩壊した事例あり。



国道443号の盛土崩壊全景



平成28年4月20日

道路局

渋滞緩和に寄与する国道443号の応急復旧完了

ましきまちでらさこ
～益城町寺迫地区の国道443号が走行可能に～



TEC-FORCE隊・国総研・土研による技術指導の状況

TEC-FORCE隊による現地調査



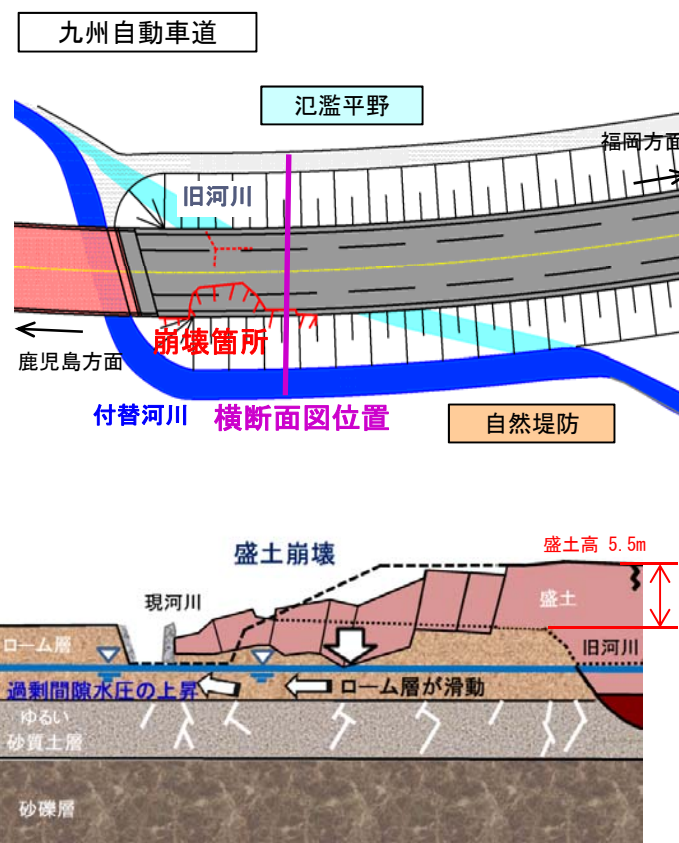
国総研・土研による技術指導



盛土崩壊



九州自動車道の盛土崩壊全景



崩壊発生機構(イメージ図)

(参考) 駿河湾地震による盛土崩壊の例 (東名高速牧之原地区)

- 平成21年8月11日5時7分頃発生した駿河湾を震源とする地震(駿河湾地震)により、東名高速道路牧之原地区で盛土法面が約40mにわたり崩壊。
- 要因としては、「盛土下部に使用された泥岩が、長年の水的作用により強度低下するとともに、透水性が低下し、盛土内の水位が上昇した結果、地震が誘因となって崩壊が発生した」と推定※¹。

○「東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会」を開催
(平成21年8月17日発足)

盛土崩壊について、次のことを確認 ※¹

- 1) のり面崩壊は、盛土内で発生
- 2) 当該地は、道路横断方向が凸、道路縦断方向に凹の地山形状で、水が集まりやすい地形・地質条件。
- 3) 盛土内は高い地下水位。
- 4) 盛土の下部に風化しやすい泥岩を、上部には良質な砂礫を使用。



写真-I 盛土崩壊状況

※¹ 出典:「東名高速道路牧之原地区地震災害検討委員会」報告

※² 出典:「東名高速道路牧之原地区地震災害の対応について」中日本高速道路(株)

○盛土崩壊のメカニズム※²

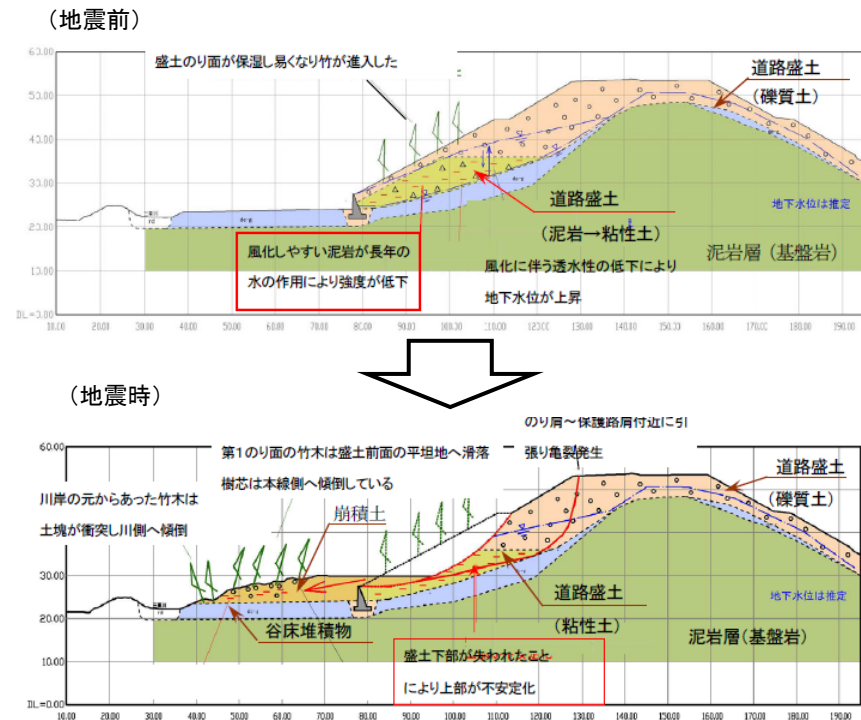


図-I 盛土崩壊のメカニズム

落石・岩盤崩壊

国道212号 大分県日田市大山町西大山



落石防護施設では防ぐことができず、
路面に岩塊が到達

国道387号 大分県日田市中津江村



路面に落下した落石の状況
(要対策箇所)

国道445号 熊本県上益城郡御船町滝尾



落石防護施設の脇に崩落し、車線を完全
に塞いでいる溶結凝灰岩

落石・岩盤崩壊

- 適切な構造物対策により、落石による被害の発生を防止した事例あり。

国道210号大分県日田市天瀬町赤岩

シェッド上方斜面より落石が発生したが、リングネット等による捕捉で道路上には到達するものはなかった



斜面崩壊状況



支柱の転倒状況



シェッド上の岩塊

その他（液状化による被害等）



国道443号におけるマンホールの浮き上がり及び周辺地盤の沈下
(益城町寺迫)

写真-1 マンホールの浮き上がり及び周辺地盤の沈下



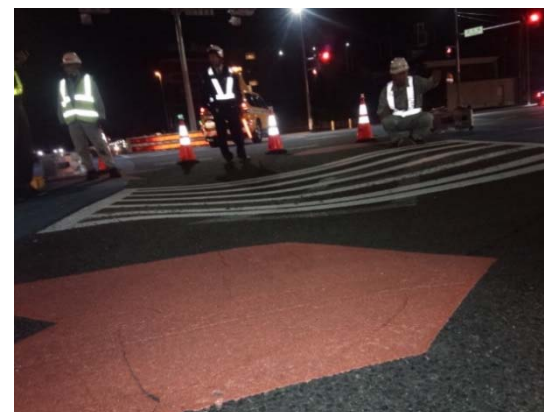
町道における電柱の沈下
(熊本市南区近見)

写真-3 液状化による電柱の沈下



下水道埋戻土の液状化によると考えられる路面陥没
(益城町)

写真-2 液状化によると考えられる路面陥没



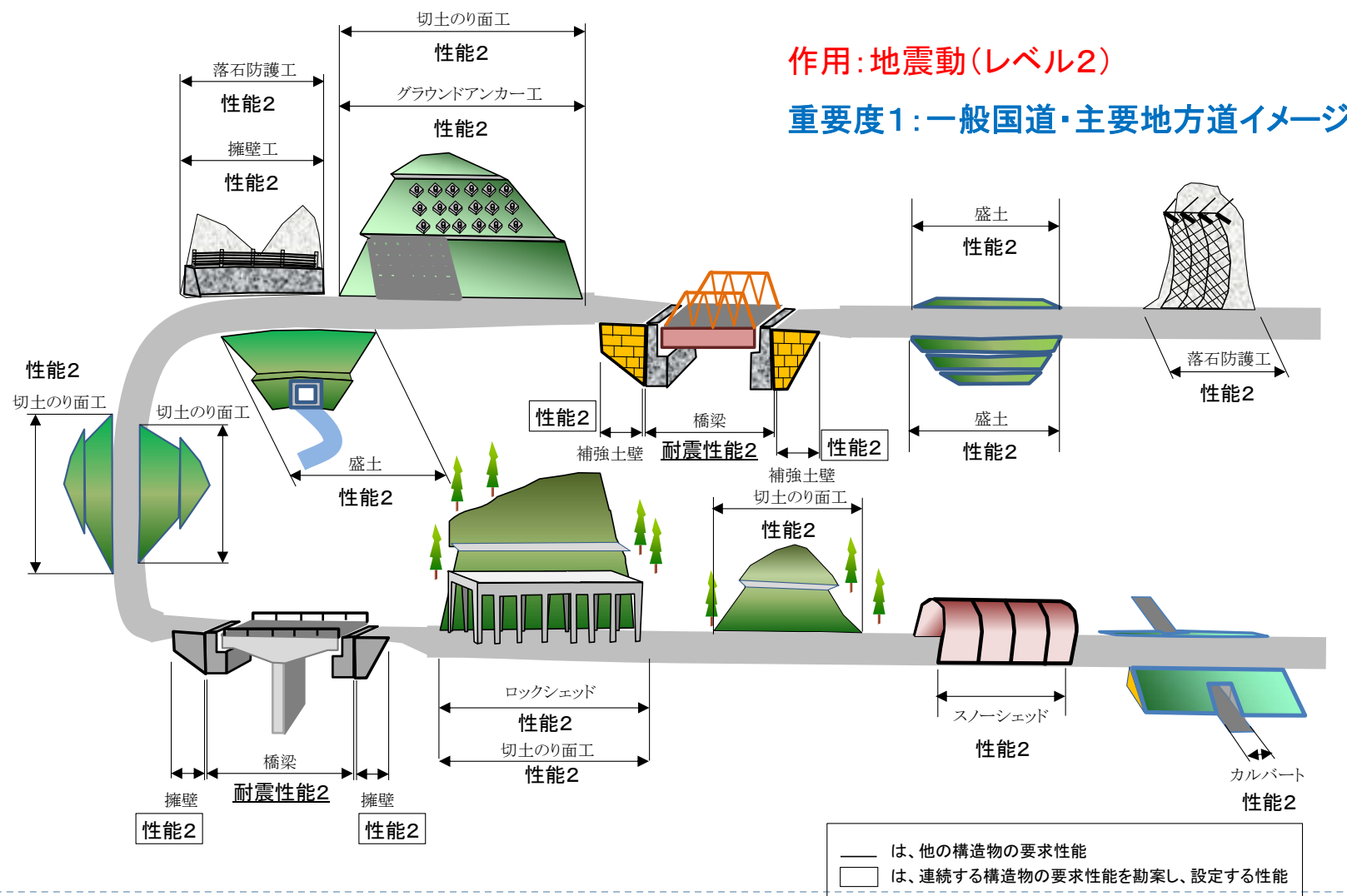
国道57号東バイパス田井島交差点における共同溝上の路面沈下あり
(熊本市南区田井島)
液状化による影響の可能性あり

写真-4 共同溝上の路面沈下

道路土工構造物の耐震性能

性能	盛土	切土	斜面安定工	参考: 橋梁
性能1 道路土工構造物は健全である、又は、道路土工構造物は損傷するが、当該道路土工構造物の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない性能				耐震性能1 橋としての健全性を損なわない
性能2 道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能				耐震性能2 損傷が限定的で、橋としての機能の回復が速やかに行いうる
性能3 道路土工構造物の損傷が、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない性能				耐震性能3 損傷が橋として致命的とならない

道路構造物の耐震性能

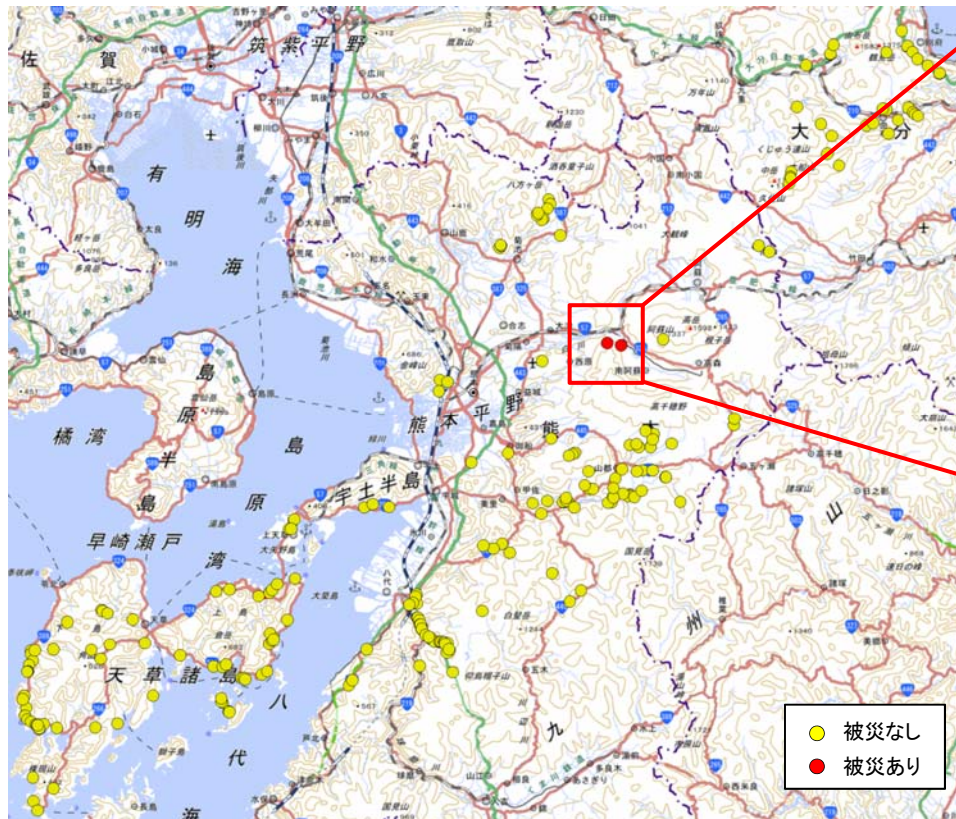


道路構造物の耐震性能

個別施設 → ルート → ネットワーク

	道路の機能	
	供用性が極力損なわれないことが求められる。	一時的な供用性の制限が許容される。 (同等以上の代替路線により、その機能が補完される。)
災害時 (L2地震)	橋 : 損傷が限定的で、機能回復が速やかに行いうる。 土工 : 損傷が限定的で、道路の機能の一部に支障を及ぼすが、速やかに回復できる。 舗装、附属物、占用構造物 : (地震動・液状化に対し) 損傷が限定的。	橋 : 落橋等、損傷が致命的とならない。 土工 : 損傷が道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない。(復旧工事により回復) 附属物、占用構造物 : 人命への影響が懸念される落下、倒壊等が生じない。
維持管理 ・ 耐久性設計	補修のためとはいえ、通行止めが許容しがたい。(予防保全)	通行止めをして補修することが可能である。

トンネル被害の概要



震度6弱以上を観測した地域におけるトンネル位置図



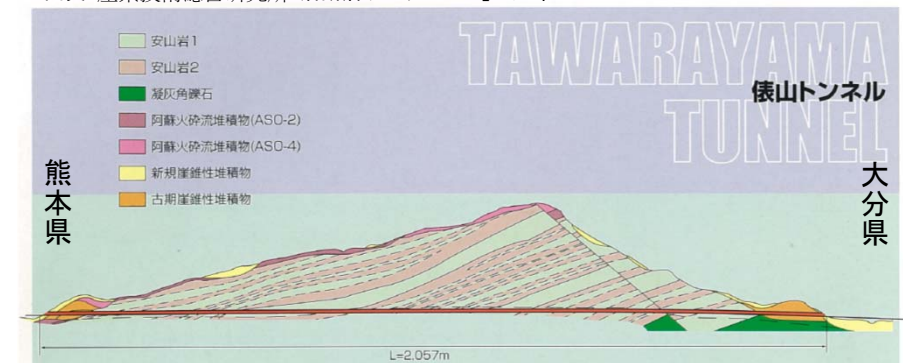
出典:産業技術総合研究所「活断層データベース」に加筆



覆工コンクリートの崩落
(俵山トンネル)



覆工コンクリートのひび割れ
(南阿蘇トンネル)



俵山トンネル概略図 (出典:熊本県パンフレット)

俵山トンネル 覆工コンクリートの崩落等

①覆工コンクリートせん断ひび割れ



被災規模:
縦断方向:
1スパン
(10m程度)
横断方向:
半断面程度

②盤ぶくれ



被災規模:
縦断方向:
2~3m程度
横断方向:トン
ネル全周

③覆工コンクリート崩落



被災規模:
縦断方向:
1スパン(10m)程度
横断方向:
半断面
(1/2~1/3)程度

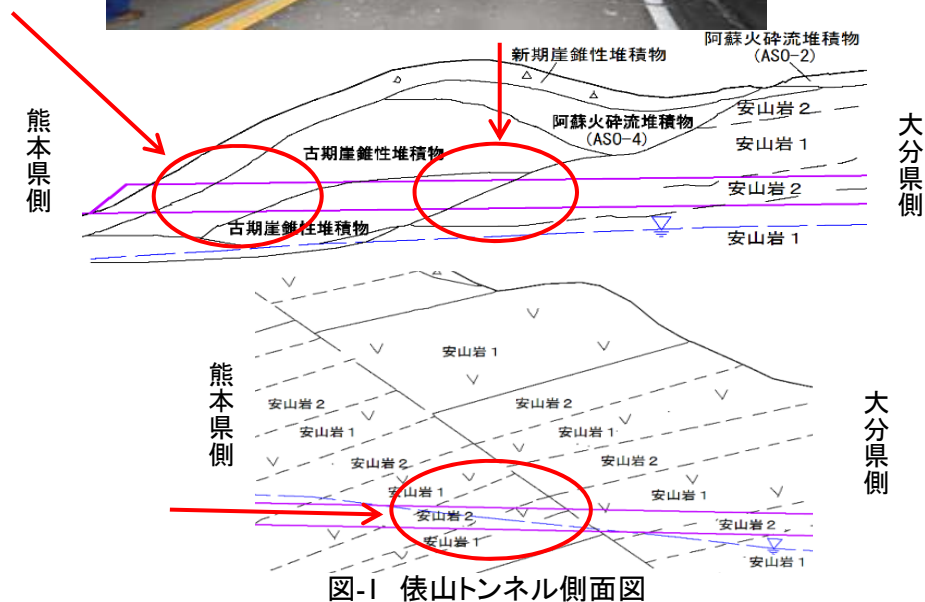
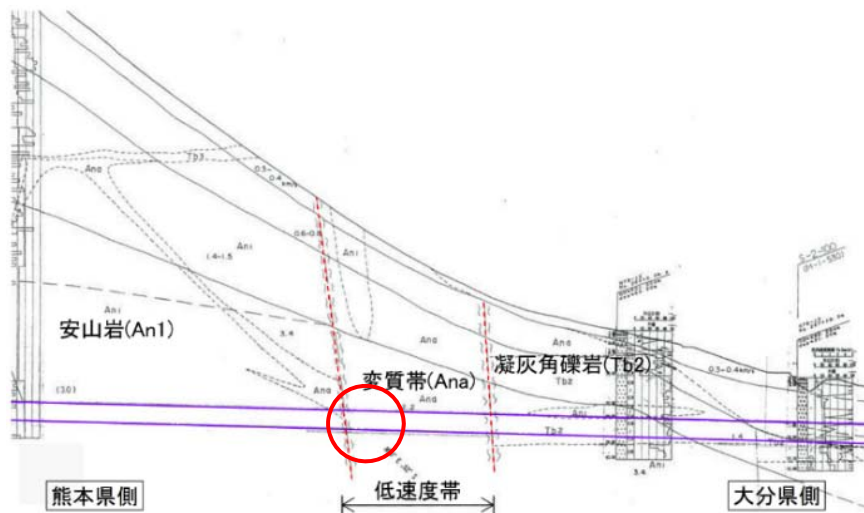


図-1 俵山トンネル側面図

南阿蘇トンネル 覆工コンクリートの損傷



輪切り状のひび割れとわずかなはく落の状況

トンネルでの対応の方向性

- これらの被害の状況を踏まえ、覆工の補強等により利用者被害発生の可能性を低減させる対応が必要。
- このため、山岳トンネルの計画・調査・設計・施工・維持管理における耐震の観点からの配慮事項を明確にする。
- 俵山トンネルを含む阿蘇地域のトンネルを調査した結果、
 - ・活断層近傍であっても被害は狭い範囲に限定的に発生
 - ・被害の程度には地山条件が大きく関係
- したがって、トンネルにおける耐震の観点としては、地山条件等の特殊条件の存在を考慮。



熊本地震からの復興を支援します。

kimura-y92tb@nilim.go.jp