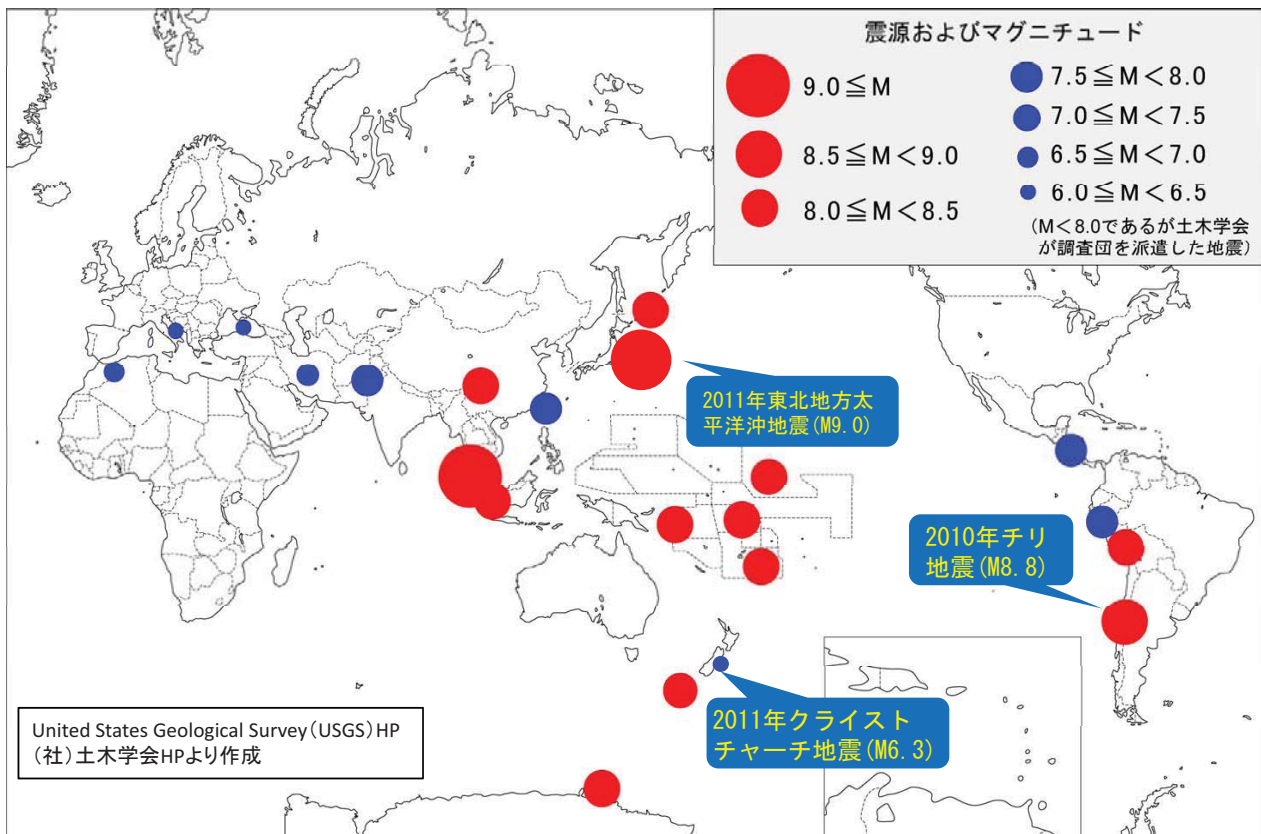


第4回CAESAR講演会

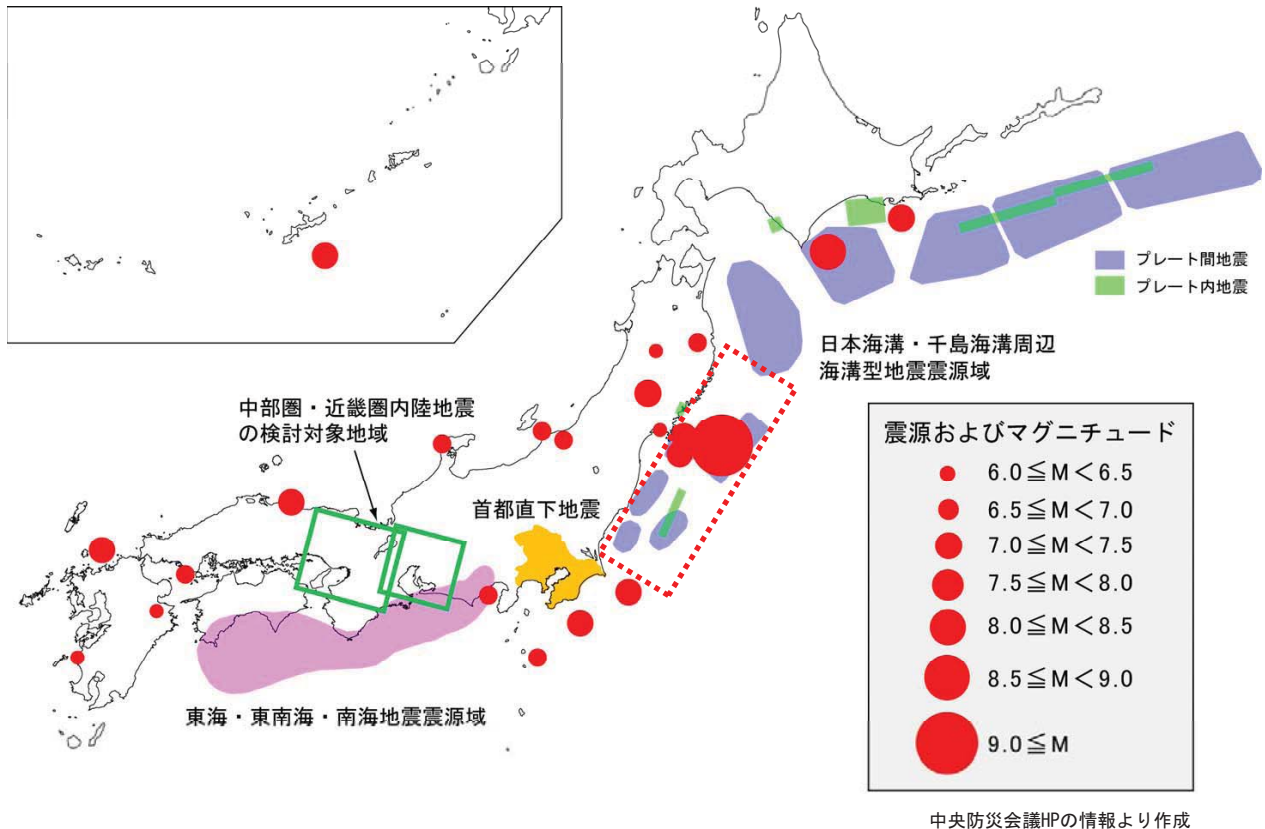
震災経験を踏まえた今後の研究の取り組み



最近15年の世界での主な地震と地震の規模



最近15年の日本付近での主な地震と逼迫する想定大地震の震源域



2011年東北地方太平洋沖地震による道路橋の被害

津波による被害



地震動による被害



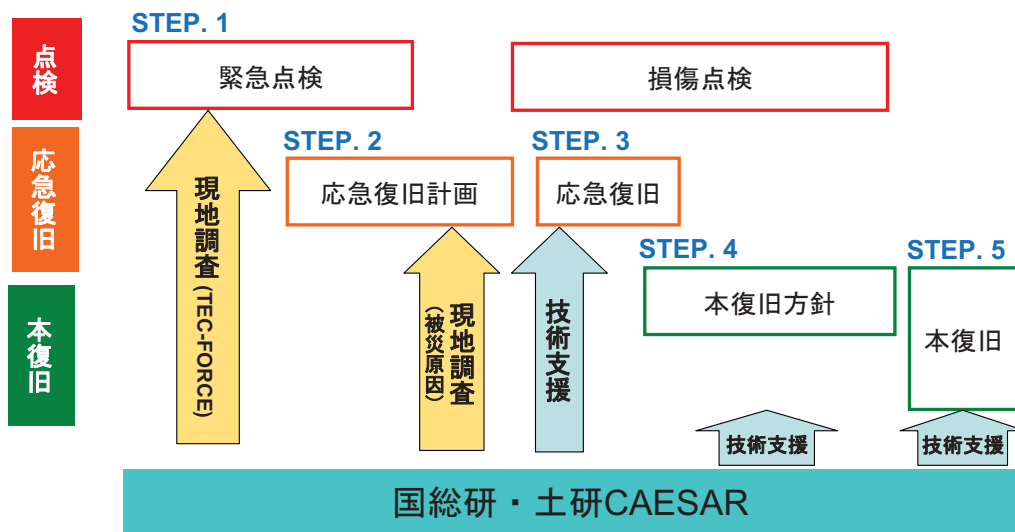
地盤の液状化の影響



土研CAESARにおける道路橋の被災調査活動の目的

① 道路管理者への技術支援

地方整備局(東北、関東)、地方自治体(岩手県、茨城県、千葉市、北上市等)



② 被災の検証、技術基準の点検のための調査

道路橋示方書

道路橋の調査の概要



○調査対象橋梁(これまでに170橋)

- ・地震動の影響により被災した道路橋
- ・津波の影響を受けた道路橋
- ・液状化が生じた地盤周辺の道路橋

○調査体制

国総研、土研CAESARで連携して実施



これまでの調査結果に基づく道路橋の被害の概要

1. 地震動による道路橋の主な被害

- 昭和55年よりも古い基準で設計され耐震補強がされていない橋の被害
 - ・RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷
 - ・軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚躯体の損傷
 - ・支承本体の破損
 - ・支承取り付け周辺部位の損傷（下部構造天端、支承が取り付け桁側の部位）
 - ・パイルベント式橋脚を有する橋の落橋
- 橋脚躯体が耐震補強された橋
 - ・橋脚躯体には損傷はないが、他の部位に損傷が生じた例あり
- 兵庫県南部地震後の基準で設計された橋
 - ・致命的な被害はなく、損傷は限定的であるが、ゴム支承の破断が確認された例あり
- 橋へのアプローチ部の被害
 - ・橋台背面土の大きな沈下

2. 津波による道路橋の主な被害

- ・上部構造の流出、橋台背面土の流出
- ・基礎周辺の洗掘

3. 地盤の液状化による道路橋の主な被害

- ・橋台の橋桁側への移動（遊間異常）
- ・支承の損傷やパラペット付け根部でのひび割れ
- ・橋台背面土の大きな沈下

道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能

2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題

3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題

4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

過去の大地震による落橋事例から学ぶ

1891年濃尾地震から2008年岩手・宮城内陸地震までの地震による落橋事例をDB化



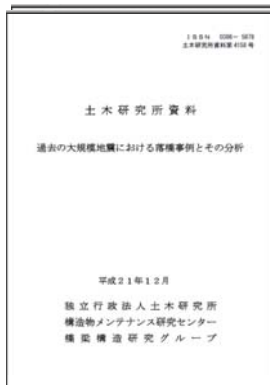
1891年濃尾地震



1923年関東地震



1948年福井地震



1946年南海地震



1964年新潟地震



1964年新潟地震



1978年宮城県沖地震

過去の大地震による落橋事例から学ぶ

1891年濃尾地震から2008年岩手・宮城内陸地震までの地震による落橋事例をDB化



シナリオA



シナリオB



シナリオC



シナリオD

シナリオ	被害原因	橋数	径間数
A	下部構造が倒壊	23	200
B	下部構造が大変位	6	15
C	上部構造の橋軸方向への変位	7	11
D	上部構造の直角方向への変位	5	7

致命的な落橋を防止
するという観点からは

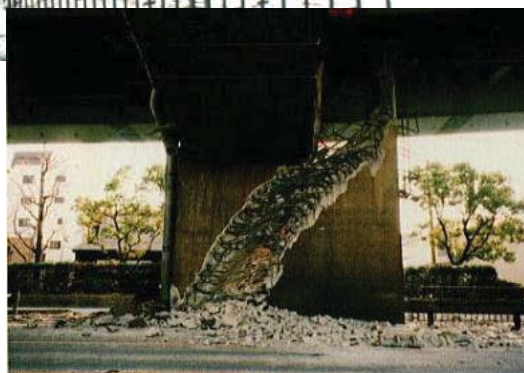


- ・上部構造を支持する部材（桁橋であれば一般に橋脚）の鉛直支持性能を確保
- ・支承破壊後の桁の下部構造天端からの逸脱を抑制

兵庫県南部地震において致命的な被害が生じた RC単柱式橋脚



段落し部での損傷、破壊、倒壊



世界最大級の実大橋脚による耐震補強効果の検証

補強前



補強後



- 断面寸法がRC橋脚の塑性変形能に及ぼす影響の解明
- 塑性ヒンジメカニズム、鋼板巻立て補強効果の解明
- RC橋脚の耐震補強設計法の構築

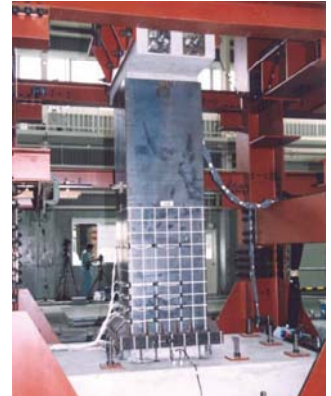
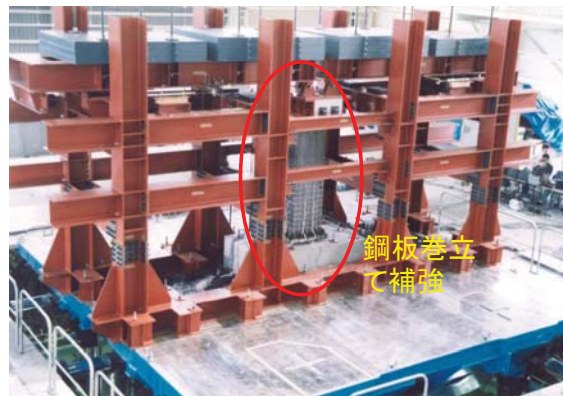
大型振動台実験による耐震補強効果の検証

補強前



- 耐震補強された橋の地震時挙動の解明
- 耐震補強効果の検証
- RC橋脚の耐震補強設計法の構築

補強後



鋼板を立
て補強

炭素繊維シートによる耐震補強効果の検証



補強前

補強後



- 炭素繊維シートによるRC橋脚のせん断補強効果の解明
- 炭素繊維シートによるRC橋脚の耐震補強設計法

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

補強済みの橋（緊急輸送路）
（3径間連続 3連）
（基準適用年：昭和49年）



写真提供：東北地方整備局

岩手県奥州市
付近

両橋間の距離
約4km



未補強の橋（緊急輸送路以外）
（9径間連続）
（基準適用年：昭和47年）



可動支承における
桁の振動跡



写真提供：東北地方整備局



RC巻立てに
よる橋脚の
耐震補強

写真提供：東北地方整備局

段落し部の損傷（地震後全面通行止め）



斜めひび割れ

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

補強済みの橋
（3径間連続＋4径間連続）



茨城県水戸市付近



約
400m

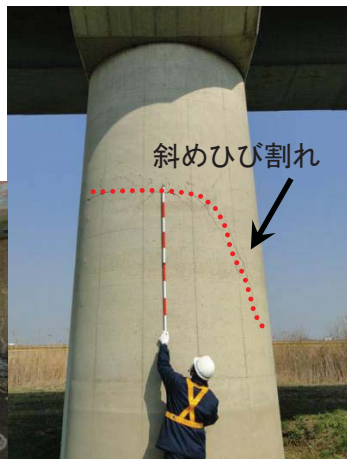
未補強の橋（緊急輸送路以外）
（3径間連続 2連）



段落し部の損傷
（地震後全面通行止め）



可動支承部の損傷



斜めひび割れ

耐震補強された橋とその近傍の耐震補強されていない橋

＜平成16年新潟県中越地震における事例＞

鋼板巻立て補強済みの1期線(上り線)は損傷なし

1期線(上り線)

2期線(下り線)



鋼板巻立て補強

地震後に炭素繊維巻立てによる応急復旧をした状態

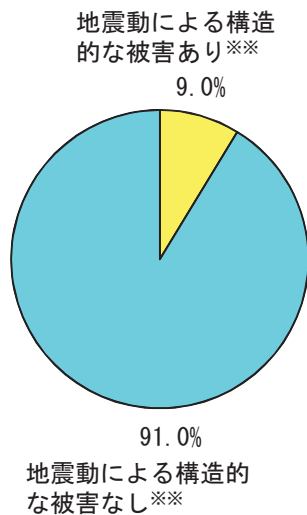
地震後の損傷状態
(段落し部で損傷)

研究成果が生かされた橋脚の耐震設計，耐震補強技術



過去の震災経験を踏まえ橋脚の耐震補強が優先して実施された橋の地震動による構造的な被害の状況

福島県、宮城県、岩手県内の直轄管理国道※で耐震補強がなされていた橋の被害分析



損傷部位と状況

今後の精査によって数値に変更が生じる場合があります。

① 支承部周辺の損傷 (6.4%)

- ・ボルト、サイドブロック、ストッパーの破損
- ・ダンパー、変位制限構造の取付部の損傷

② 上部構造の損傷 (1.3%)

- ・トラス材の亀裂、変形
- ・主桁の亀裂
- ・桁端部の遊間異常

③ 橋脚横梁付近 (0.7%)

- ・横梁部に縦方向のひびわれ
- ・橋脚躯体と横梁の接合部付近の損傷

④ 橋台パラペット (0.7%)

- ・ひびわれ

(注: 四捨五入の関係で合計値が合っていない)

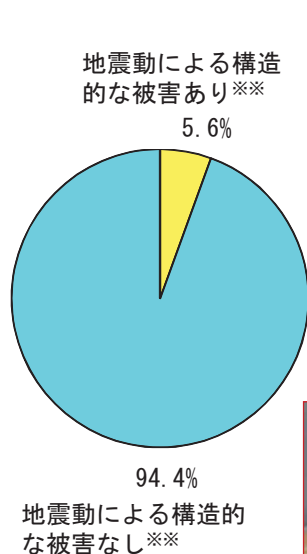


※ 福島第一原子力発電所から半径20km範囲内の橋は対象外
車道部と歩道部（側道橋）が構造的に分離している場合は、別の橋として計数

※※ 「地震動による構造的な被害」とは橋の構造部材（上部構造、下部構造、支承部等の構造部分）に生じた地震動による損傷とし、橋台背面土の沈下、アスファルト路面、高欄や添架物の損傷、擁壁や護岸のずれ、津波により生じた被害等は対象外

兵庫県南部地震後の基準で設計された橋の地震動による構造的な被害の状況

福島県、宮城県、岩手県内の直轄管理国道※でH8道示以降の基準適用の橋の被害分析



損傷部位と状況

今後の精査によって数値に変更が生じる場合があります。

① 支承部周辺の損傷, 変状 (4.2%)

- ・ジョイントプロテクターの破損
- ・上沓鋼板の変形
- ・ゴム支承のせん断変形
(周辺盛土の沈下による橋台の前面への移動による)

② 上部構造 (1.4%)

- ・桁端部の遊間異常



直轄管理国道以外の橋でH8道示以降の基準適用の橋の主な被害

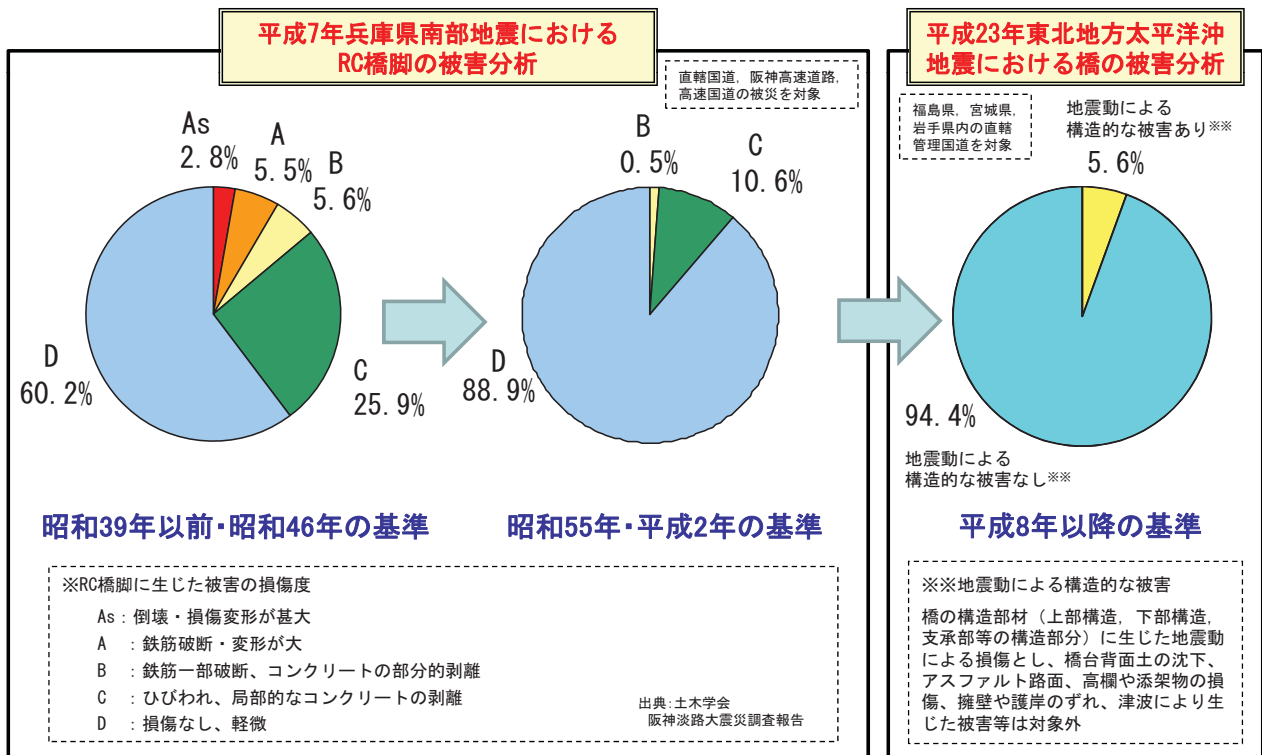
- ・ゴム支承の破断



※ 福島第一原子力発電所から半径20km範囲内の橋は対象外
車道部と歩道部（側道橋）が構造的に分離している場合は、別の橋として計数

※※ 「地震動による構造的な被害」とは橋の構造部材（上部構造、下部構造、支承部等の構造部分）に生じた地震動による損傷とし、橋台背面土の沈下、アスファルト路面、高欄や添架物の損傷、擁壁や護岸のずれ、津波により生じた被害等は対象外

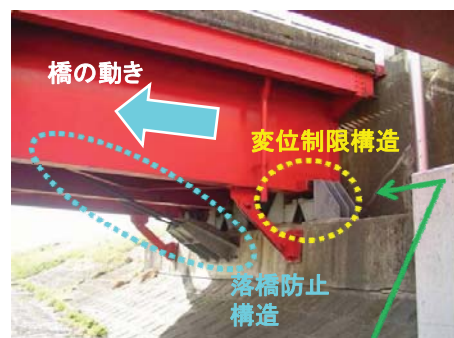
震災経験を踏まえた設計基準の見直しにより 新しい橋の耐震性能は向上している



橋脚の耐震補強と落橋防止対策が実施されていても 長期にわたり橋の機能に影響を及ぼした被害

液状化の影響により基礎に変状が生じた被害の例

(直轄管理国道以外の橋)



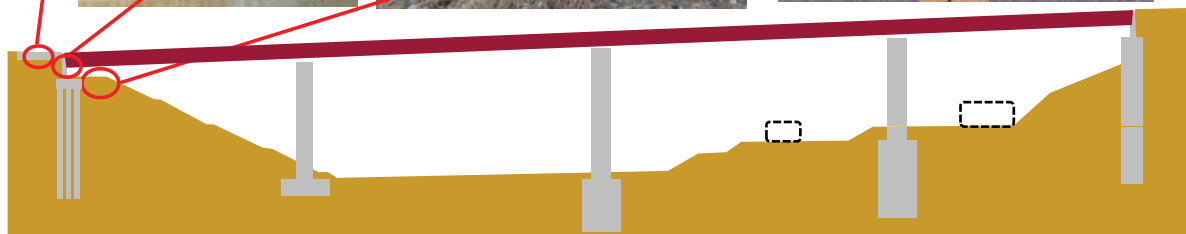
3径間連続橋の
固定支承を有する
下部構造の変状と
周辺地盤の液状化痕跡



可動支承の変状

兵庫県南部地震後の基準で設計された橋でも 速やかな橋の機能回復に影響を及ぼした被害

橋へのアプローチ部の被害
(橋台背面土の大きな沈下)



設計基準の新旧によらず生じている橋梁区間と 土工区間の境界部の損傷

速やかな橋の機能回復に影響を及ぼすような橋台背面土の大きな沈下による段差が発生
こ線橋の例



河川渡河橋の例(液状化の影響)



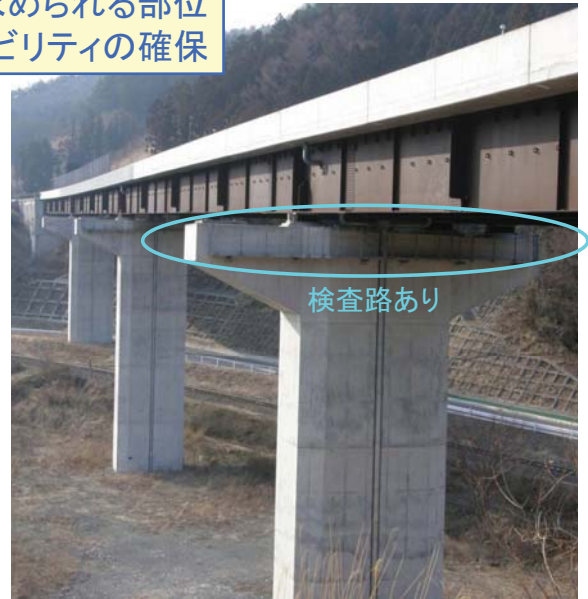
速やかな機能回復のための速やかな点検

地震後に速やかな機能回復が求められる橋の場合には、**速やかな点検ができる備えが必要**

近接目視が求められる部位
へのアクセシビリティの確保



河川渡河橋の低水路部橋脚上の支承の点検



高橋脚上の支承の点検

道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題
3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題
4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された未補強のRC橋脚の被害＞

RC橋脚の軸方向鉄筋段落し部の損傷

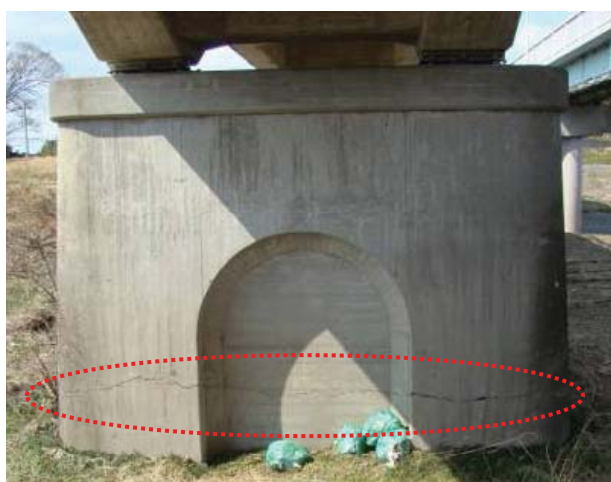
軸方向鉄筋段落し部付近における曲げ損傷からせん断ひび割れの進展に至った被害



過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された未補強のRC橋脚の被害＞

軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚躯体の損傷



過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された支承部周辺の被害＞

鋼製支承本体の破損



可動支承の損傷
(ローラー逸脱)
と伸縮装置位置
で生じた段差



固定支承の損傷



過去の震災と同様な被害が発生

＜S55年道示よりも古い基準で設計された支承部周辺の被害＞

支承取り付け 周辺部位の損傷



上部構造側の損傷

橋脚天端付近の損傷



橋脚天端付近の損傷



耐震補強が必要な橋で耐震補強が未実施の橋は 過去の震災と同じ被害を繰り返す

1. 軸方向鉄筋段落し部の損傷

- ・過去の震災でも致命的な被害に至った経験のある形態
- ・震前対策としての耐震補強技術、被災後の応急復旧技術は事例多い

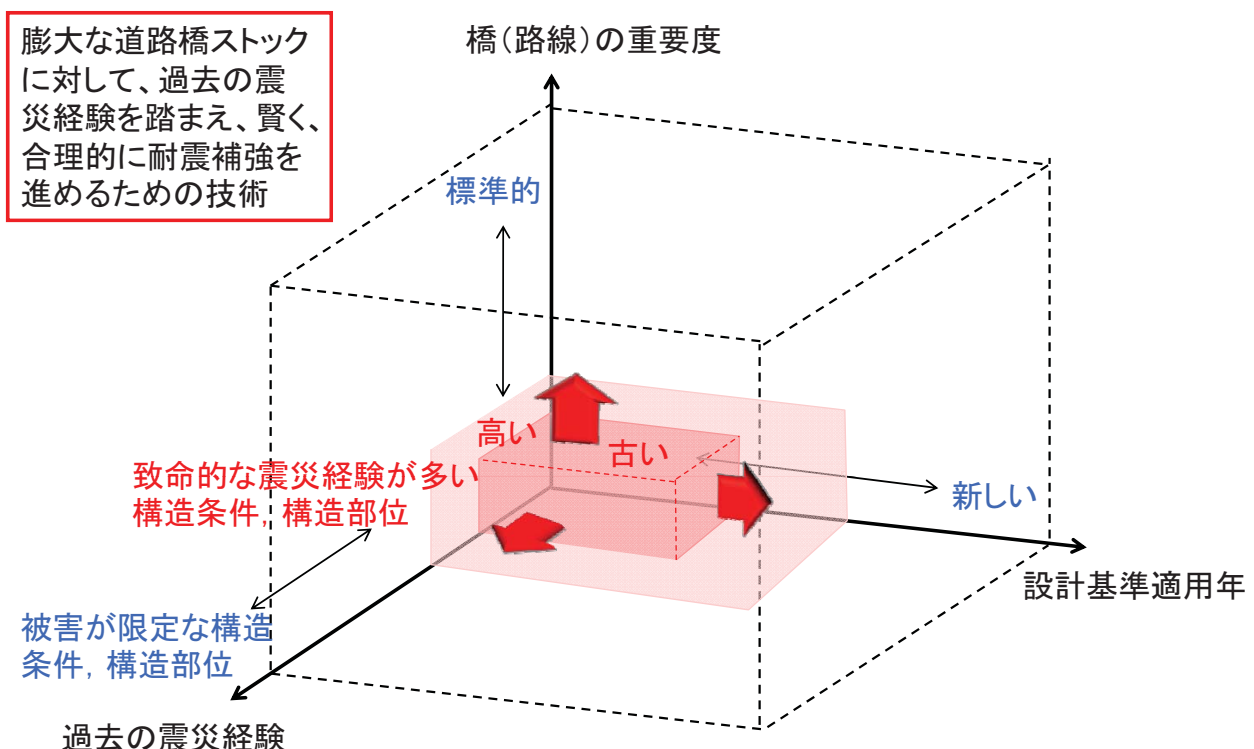
2. 軸方向鉄筋量の少ないRC橋脚躯体の損傷

- ・低鉄筋構造のため耐震補強は大がかりとなる
- ・大断面、低鉄筋な壁式(小判型)タイプの橋脚、橋台に対する合理的な耐震補強技術、震後応急復旧技術の研究

3. 支承本体及びその取り付け周辺部位の損傷

- ・過去の震災でも致命的な被害に至った経験のある形態
- ・支承受り付け部の損傷は本体の損傷よりも機能回復に時間を要する
- ・取付側の部材に脆性的な損傷を生じさせない設計思想
(耐力階層化による部材間損傷制御のキャパシティデザインのコンセプトの重要性)

道路橋の耐震補強における3つの軸



道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題
- 3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題**
4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

津波による道路橋の被害

全径間の上部構造及び橋台背面土が流出し、下部構造が1基流出した橋



流出した橋脚基部の破壊面

津波による道路橋の被害

上部構造の一部径間が流出した橋



津波による道路橋の被害

上部構造の高さにまで津波の遡上の痕跡があるが、流出していない橋



大規模な津波の作用による橋への影響とその課題

1. 被災メカニズムの解明

- ・津波の影響を受けた橋で流出した橋と流出しなかった橋の構造的特徴の分析
- ・被災実態に基づく津波の作用に対する橋の抵抗特性の分析
- ・津波の影響の低減が図れるような構造的な対処方法

2. 橋台背面土も含めた構造物全体としての性能確保

- ・路線に求められる耐震性能(例えば復旧性)に応じた設計の考え方の検討
- ・橋構造本体の損傷以外にも橋台背面土の流出、基礎周辺地盤の洗掘

橋の構造本体は流出していないが、橋台背面土が流出し、基礎周辺地盤の洗掘が生じた橋



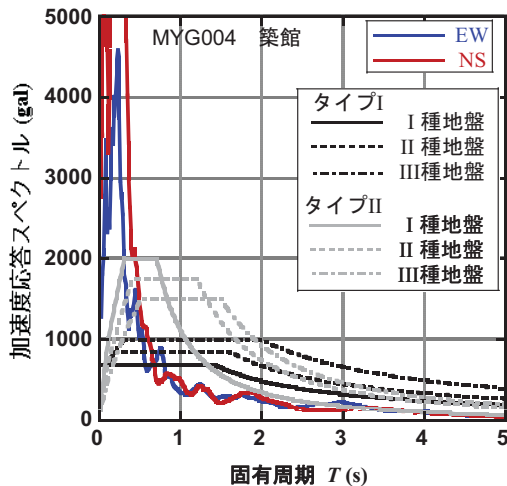
道路橋の耐震性能の観点から見た被害と課題

1. 過去の震災経験を踏まえて耐震補強された橋や新しい基準で設計された橋が示した耐震性能
2. 耐震補強がされていなかった橋に生じた被害とその課題
3. 大規模な津波の作用による橋への影響とその課題
4. 東北地方太平洋沖地震による地震動の特徴と橋に及ぼす影響

地震動の特徴と橋に及ぼす影響

1. 短周期成分に強い強度特性を持つ地震動が橋に及ぼす影響

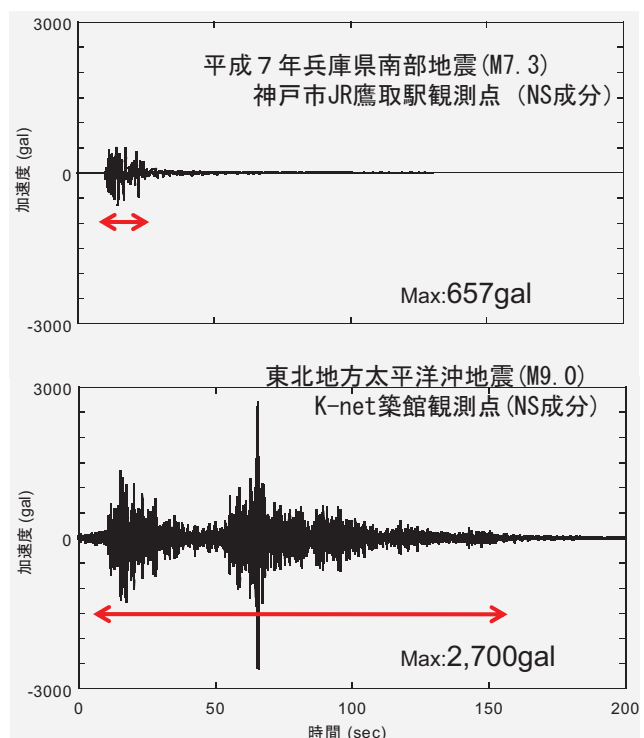
- ・気象庁震度階で震度7を記録した築館(宮城県栗原市)の地震動は、0.2～0.3秒の周期帯付近で10,000galを超える加速度応答スペクトル特性
- ・観測点付近の橋、建物に構造的な損傷は見られない
- ・地震動特性と橋の構造的な被害との関係のマクロ的な分析



地震動の特徴と橋に及ぼす影響

2. 継続時間の長い地震動特性が橋に及ぼす影響

- ・2つの主要動が連続した地震動特性のため、これまでの地震と比較して地震動の継続時間が長い
- ・塑性化を考慮する部材における塑性応答の繰り返し回数(部材損傷)に及ぼす影響
- ・地盤の液状化に及ぼす影響



震災経験等を踏まえた今後の研究の取り組み

1. 震災経験を次に生かすための分析

- ・地震動の特性と橋の被害の関係の分析
- ・機能回復や復旧に時間を要する被害形態の分析
- ・耐震補強された橋の挙動の検証、補強した部位以外の部位への影響の検証
- ・津波の作用に対する橋の抵抗特性の分析
- ・被災した橋だけでなく、被災しなかった橋の分析

2. 性能目標に応じた橋の耐震性向上技術

<耐震補強技術>

- ・性能目標に応じた、賢く、合理的な耐震補強技術
- ・液状化地盤、軟弱地盤における合理的な基礎の耐震補強

<耐震性能照査技術>

- ・地盤も含めた橋全体系の地震時挙動の研究(実橋での集中的な地震応答観測の必要性)
- ・部材間耐力の階層化による復旧性を重視した橋の耐震設計技術
- ・橋と土工部の耐震性能の連続性を確保するための研究

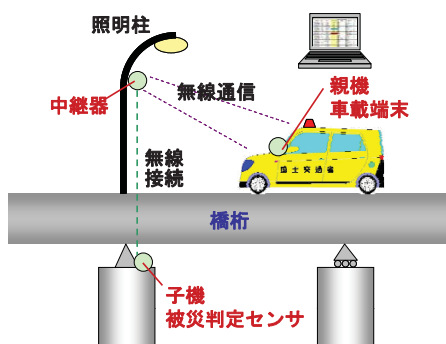
3. 橋の維持管理と耐震性の確保

- ・耐震性確保の観点から重要な部材の維持管理
 - 地震前までの橋梁点検結果と今回の地震被害の関係の検証
- ・耐震補強のための部材、装置を健全な状態に維持する技術
 - 経年した補強部材における補強効果の検証(撤去部材の活用等)

最近の土木研究所の研究開発成果が震災後に応急復旧した橋の監視対策として活用されます

橋梁の地震時被災度判定システムを活用

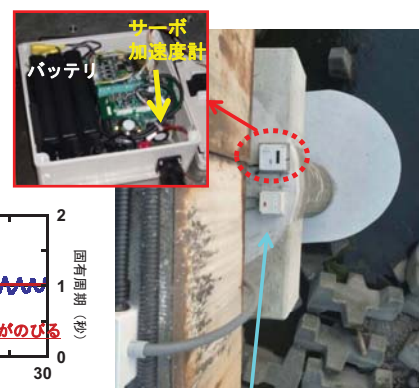
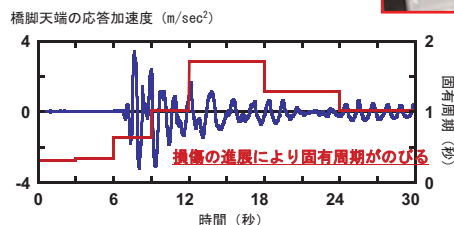
早期復旧の前提となる点検を速やかにする技術



記憶型検知センサーによる地震被害判定システムを開発

地震の揺れに伴う周期の変化を感知し、その変化によって橋脚の変状を無線通信により端末に伝送するシステム

応答周期の変化から応答塑性率を推定



東北地方太平洋沖地震により下部構造に被災が生じた橋への適用