

CAESAR設立10年の 研究活動と展望

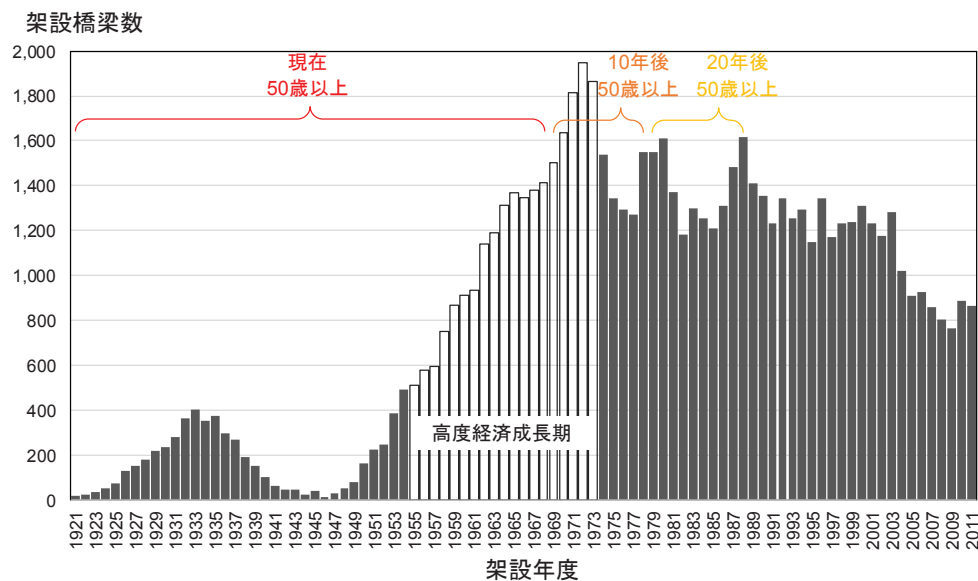
H30.9.28 設立10周年記念CAESAR講演会

設立前後の年表

西暦	1954	1973	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
和暦	S29	S48	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30
社会での出来事	高度経済成長 道路網の急速な整備			・ミネソタ州I-35W橋崩壊事故 ・木曽川大橋、本荘大橋引張斜材腐食破断	道路橋の予防保全に向けた提言			・東北地方太平洋沖地震	・笹子トンネル事故	・メンテナンズ元年	道路の老朽化対策の本格実施に関する提言 ・点検義務化・地方自治体向け点検要領策定		・熊本地震	・道路橋示方書改定100年供用、部分係数設計	
CAESARの研究活動			・道路橋の設計法の性能規定化に関する研究		平成20年4月 CAESAR発足 ・非破壊試験の活用に関する研究		・既設鋼床版の疲労対策技術の研究	・津波を受ける橋の研究 ・桁端部の漏水対策の研究		・RAIMS設立・参加	・SIP防災（既設橋の液状化に関する研究） ・SIP維持管理（非破壊・耐荷性能）		・超過外力に関する研究	・SIP築別橋現地載荷試験・X線試験 ・SIP振動台実験公開	・SIPディフェンス実験公開

設立の背景

- ▶ 高度経済成長期に建設された道路橋は供用から約50年以上が経過。老朽化による損傷が多発する危険性



道路橋の年度別架設数の推移

設立の背景

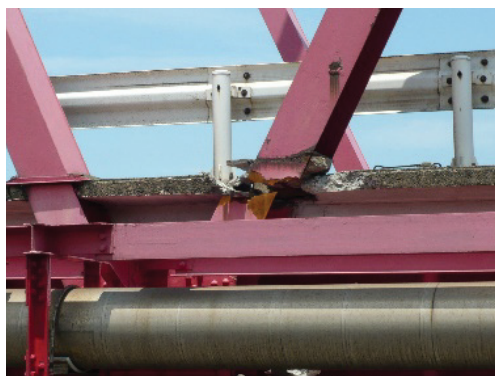
- ▶ アメリカミネソタ州ミネアポリスI-35W橋の崩落事故
- ▶ 鋼トラス橋の引張斜材が腐食等により破断（平成19年木曽川大橋、本荘大橋）
- ▶ 大規模な自然災害の頻発（平成7年兵庫県南部地震）



（出典：NTSB Highway Accident Report, Collapse of I-35W Highway Bridge）



米国I-35W橋の崩落事故



木曽川大橋のトラス斜材破断

設立の背景

- ▶ 平成20年 有識者会議（国土交通省設置）が「道路橋の予防保全に向けた提言」を発出
- ▶ 戦略的に維持管理するための調査・点検、診断・評価、補修・補強技術の確立が急務
- ▶ 首都直下地震、東海地震、東南海地震、南海地震等の大規模地震の発生が切迫。構造物の防災・減災技術の高度化が一層求められる

「予防保全を実現する5つの方策(抜粋)」 参考3

1. 点検の制度化（すべての道路橋で点検を実施）

点検に係る仕組みを充実し、すべての道路橋で点検を制度化。点検等の結果に基づき措置が行われるサイクル（点検→診断→措置）を確立。重大損傷発生時の全国緊急点検などの再発を防止するための仕組みの構築。

2. 点検及び診断の信頼性確保（技術基準、資格制度、人材育成を充実）

路線の管理レベルと橋の状態（交通量・構造等）に応じた点検基準の設定。（例：交通量の少ない市町村道の中小橋梁は簡潔に）。点検者等の資格制度や道路管理者の教育・研修制度の充実により、点検等の信頼性確保。

3. 技術開発の推進（信頼性を高め、負担を軽減する技術開発を推進）

点検・診断・補修補強の各分野において国が中心となって技術開発を推進。点検等において得られた知見を、新設及び補修補強の設計・施工・維持管理の品質改善や技術開発に活用。

4. 技術拠点の整備（損傷事例の集積と発進、高度な専門技術者の育成）

点検等の技術支援を行う拠点を中央・地方ブロック毎に整備し、集積した損傷事例等の最新情報を全国の道路管理者等に提供。また、これらの技術拠点で維持管理に関する高度な専門技術者の育成を支援。

5. データベースの構築と活用（効率的な維持管理とマネジメントサイクルの確立）

全国の道路橋に共通するデータベースを構築し、効率的で確実な維持管理の実施と緊急点検時の活用。既設橋から得られた知見を新設橋の設計等に反映し、管理を念頭に置いたマネジメントサイクルの確立。的確な指標の設定やわかりやすい情報を国民に速やかに公表。

組織・体制

- ▶ 平成20年4月1日 CAESAR設置



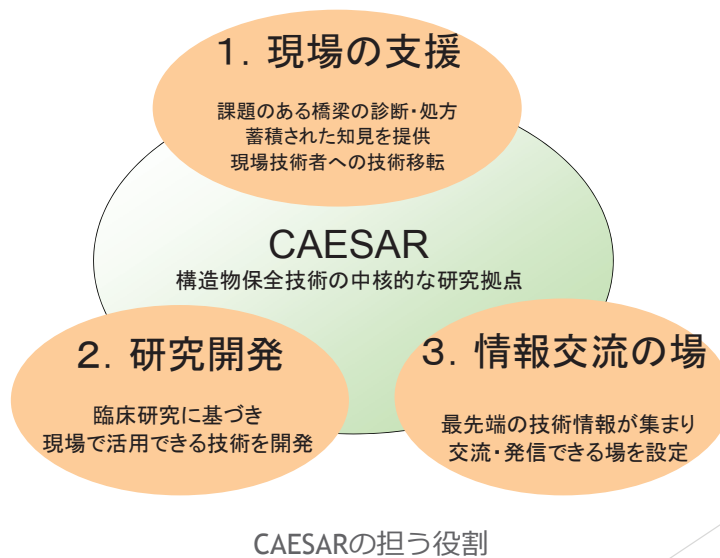
▶ 維持管理技術の高度化、長寿命化、災害時復旧の更なる迅速化、新設橋梁の設計施工など、道路橋の安全管理のための構造技術に関わる総合研究機関

► 橋梁の点検・検査、健全性の予測評価、補修補強、新設橋梁の設計施工、耐震設計について研究・技術開発を行う総合的に富む組織



組織・体制

- ▶ 道路橋の保全技術の中核的な研究拠点としての役割を果たすための「現場の支援」、「研究開発」、「情報交流の場」の3つの柱

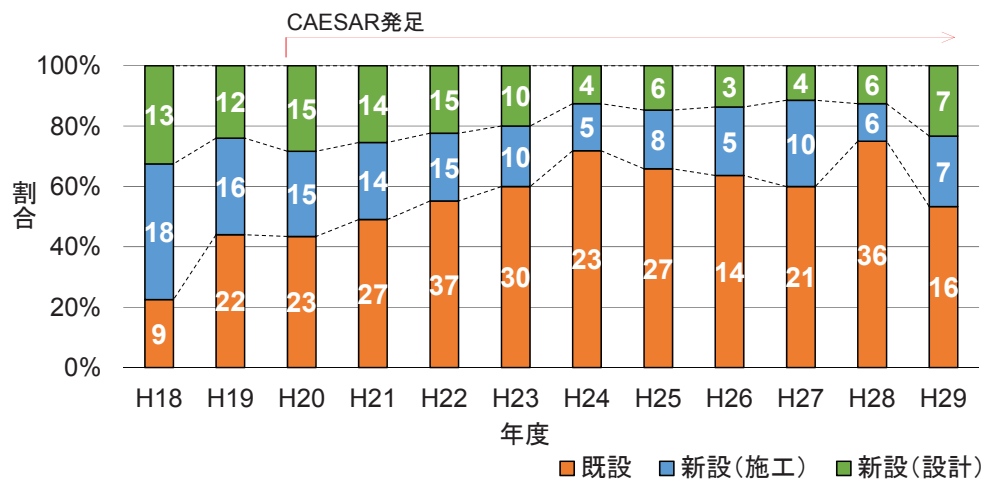


現場の支援

- ▶ 技術相談、既設道路橋に関するものが多い

橋梁関連の相談件数（H18～H29）：523件

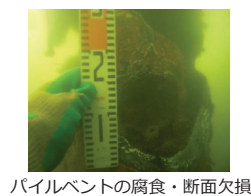
橋梁以外の構造物を含めた全相談件数・回数（H18～H29）：672件・931回



技術相談の件数・割合の推移（平成18～29年度の523件対象）

現場の支援

- ▶ 技術相談、既設道路橋に関するものが多い



パイルベントの腐食・断面欠損

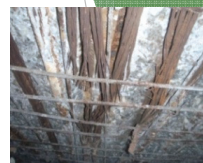


鋼床版で発見された亀裂



■ 相談地域
(供用中のみ)
※2018.8.1時点

A S Rによる損傷



コンクリート橋における
P C鋼線の破断



地震による落橋

技術相談のあった道路橋の位置と不具合の例

現場の支援

- ▶ 直轄診断（10施設で実施）、道路メンテナンス技術集団の一員として現地に赴く



直轄診断の様子



道路メンテナンス技術集団から道路管理者への報告

現場の支援

- ▶ 土木技術資料（現場に学ぶメンテナンス）平成21年～平成29年 24件
- ▶ 現場技術者への技術移転



現場に学ぶメンテナンス



道路管理者を対象とした 非破壊検査の実技演習



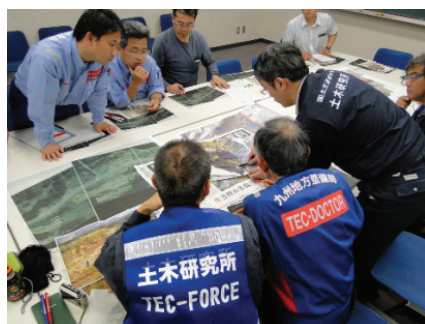
撤去部材展示施設における 部材調査実習

現場の支援

- ▶ 災害時の技術支援（平成28年4月の熊本地震でのべ204人日の専門家派遣など）



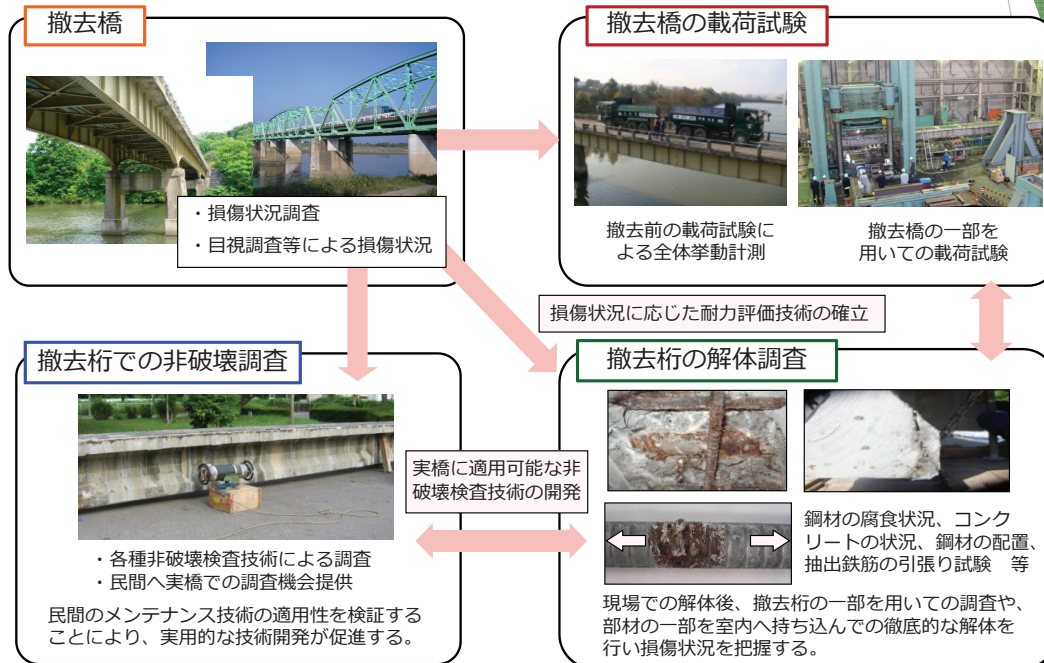
熊本地震における道路橋の被災調査



地方整備局・熊本県との打ち合わせ

研究手法（臨床研究）

▶ 臨床研究の推進（実際の橋の症例蓄積、撤去橋解体例の蓄積など）



15

研究手法（各種研究プロジェクト）

● 中長期計画に基づく研究開発プログラム

- ・ 主要研究（第4期中長期計画）
メンテナンスサイクルの効率化・信頼性向上に関する研究
社会インフラの長寿命化と維持管理の効率化を目指した更新・新設に関する研究
インフラ施設の地震レジリエンス強化のための耐震技術の開発
- ・ 重点研究36件、基盤研究32件、萌芽研究3件（H18～）

● 産官学との共同研究

- ・ 民間企業（高速道路会社、メーカー、コンサルタント、ゼネコン等）、大学、業界団体、行政機関など58件（H18～）

● 外部資金等の導入

- ・ 異分野融合によるイノベティブメンテナンス技術の開発、液状化地盤における橋梁基礎の耐震性能評価手法と耐震対策技術の開発（SIP）
- ・ 革新材料による次世代インフラシステムの構築（COI）
- ・ 効率的かつ効果的なインフラ維持管理・更新の実現（PRISM） 等

● 技術研究組合

- ・ モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）

16

研究手法（モニタリングシステム技術研究組合）

- ▶ モニタリングの導入シナリオ（活用イメージ）や各種技術の適用方法、導入事例などをまとめたガイドラインを提案予定

例）モニタリング技術を活用した熊本地震での被災橋梁の補修効果の確認

モニタリングシステム技術研究組合 【略称：RAIMS（ライムス）】

代表者：

理事長 依田照彦（早稲田大名誉教授）

組合員：

土木研究所

NEXCO東日本・中日本・西日本

鹿島建設・前田建設工業

日本工営・国際航業

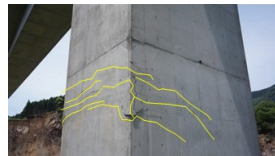
沖電気工業・日本電気・日立製作所・富士通

共和電業・能美防災

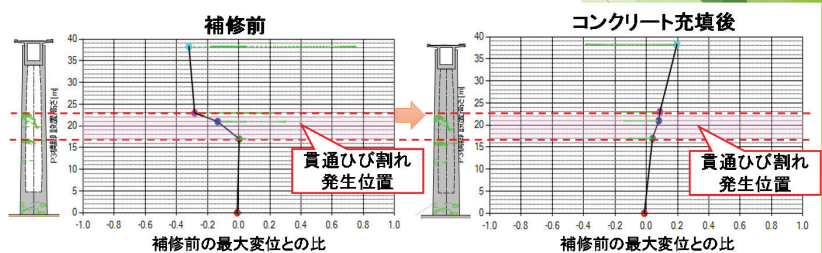
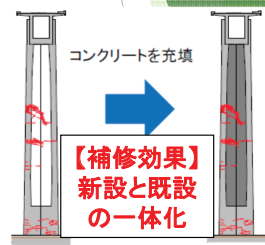
設立目的：

損傷・劣化の状態監視を社会インフラの維持管理業務へ活用するため、センサや通信・データ解析技術等を活用したモニタリングシステムの社会インフラ分野への実用化導入を図ることを目的とする。

P 3 橋脚の損傷・補修計画



橋脚の貫通ひび割れ



被災した橋脚の補修効果の確認

17

研究開発（メンテナンス）

- ▶ コンクリート部材の塩害対策（健全性の判定手法の提案、高出力X線による非破壊検査技術の開発、塩害により劣化した実橋主桁の破壊試験 等）
- ▶ 著しい塩害環境下にある橋梁の劣化機構の解明のため、伊良部大橋の橋脚において、長期にわたる状態観測を継続して実施（沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト）



国内初の実橋主桁の破壊試験（北海道）



道路管理者と連携し、コア抜き調査を継続的に実施

18

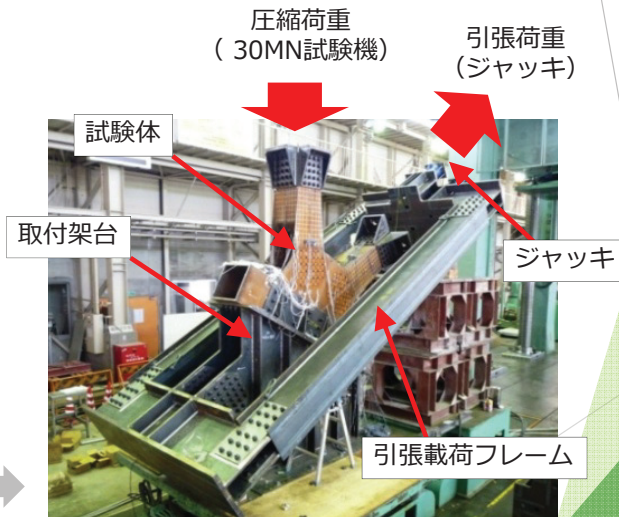
研究開発（メンテナンス）

▶ トラス橋の主構部材の腐食への対応

例) トラス橋の撤去部材から切り出した格点部を用いて、腐食量計測、载荷試験及び解析を実施し、破壊性状及び残存耐荷力を把握するとともに残存耐荷力評価手法を検討



塗膜除去前



腐食部材の载荷試験

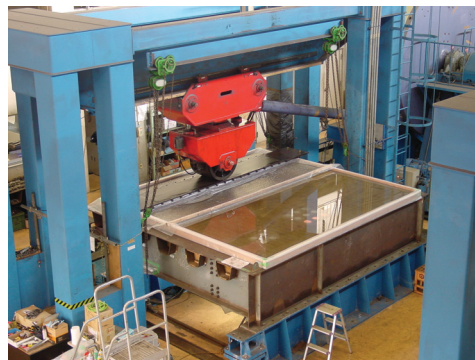
19

研究開発（メンテナンス）

▶ 鋼部材の疲労対策（既設鋼部材の疲労亀裂について、損傷メカニズムの解明、補修補強対策の確立、検査技術の開発などを行い、縦横リブの交差部構造の改良案、超音波探傷技術を応用したデッキ貫通亀裂の検出手法、鋼繊維補強コンクリートSFRCによる長寿命化策等を提案）



超音波探傷による鋼床版デッキプレート
の疲労き裂の調査方法の開発

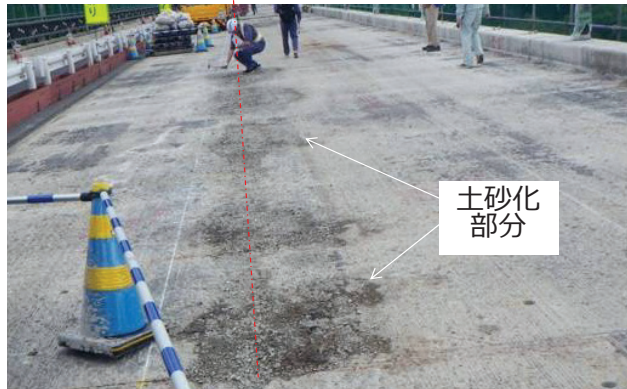


水張り輪荷重走行試験による
鋼床版上のSFRC舗装の耐久性試験

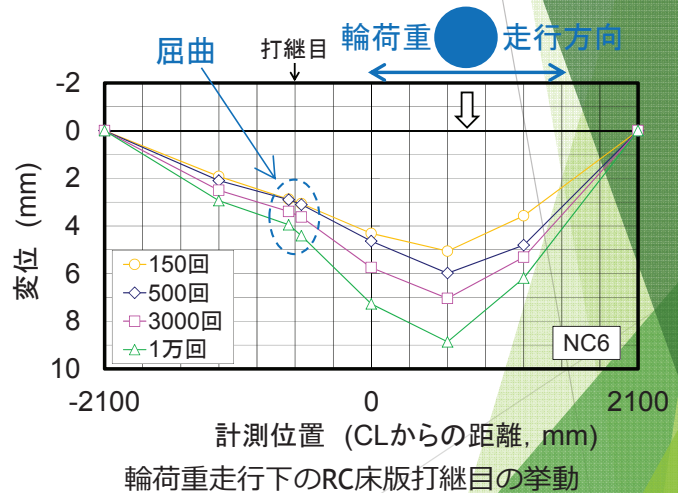
20

研究開発（メンテナンス）

- ▶ RC床版の疲労対策（上面増厚や部分打替された床版の再劣化挙動の解明、床版防水層の効果把握など）

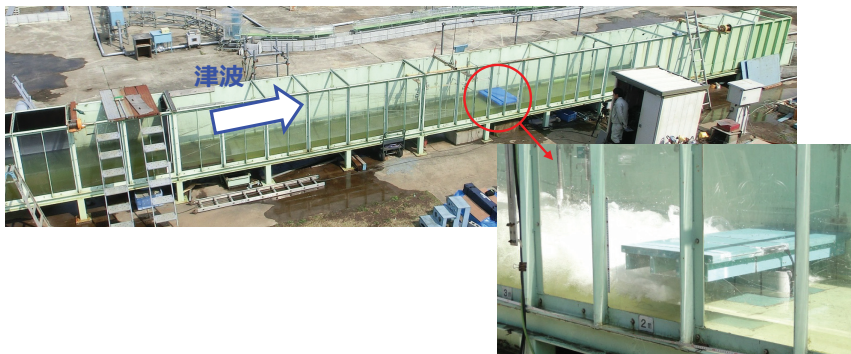


RC床版上面の土砂化事例

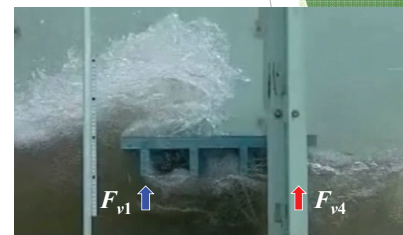


研究開発（耐震）

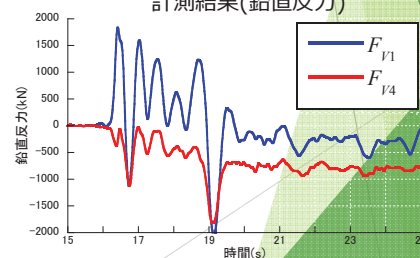
- ▶ 耐震性能に基づく既設橋の評価と耐震補強技術（平成7年兵庫県南部地震、平成23年東日本大震災、平成28年熊本地震）
- ▶ 来るべき大地震への対応（東南海・南海地震等の巨大地震の発生）
- ▶ 地震動以外の地震の影響への対応
例）被害実態を踏まえた津波が橋梁に及ぼす影響の検討



長さ30mの実験水路（1/20スケール）を用いた水路実験



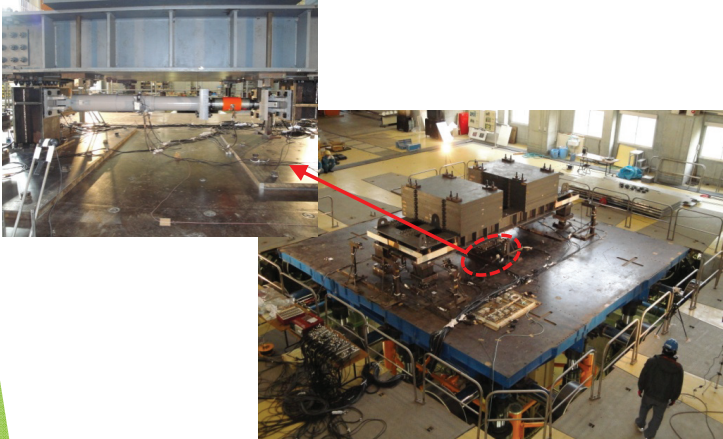
計測結果(鉛直反力)



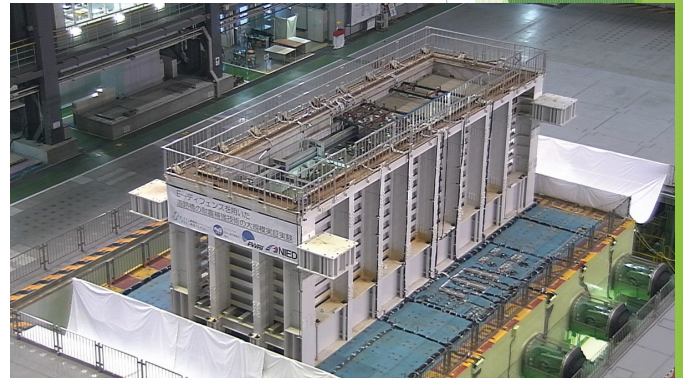
上部構造に作用する力（作用側）を再現

研究開発（耐震）

- ▶ 耐震デバイスの性能評価と耐久性評価に向けた対応
例）橋梁に用いる制震ダンパーの性能検証法及び設計法に関する共同研究（CAESARと民間14社による官民共同研究）
- ▶ 液状化地盤における流動化への対応（SIP、E-ディフェンス実験公開）



土木研究所が所有する三次元大型振動台
に基づく制震装置の性能評価

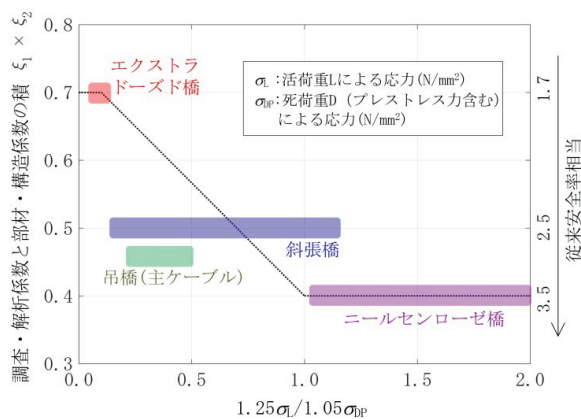


液状化地盤上の橋梁の耐震補強技術を開発
するためE-ディフェンスにおいて行った実験

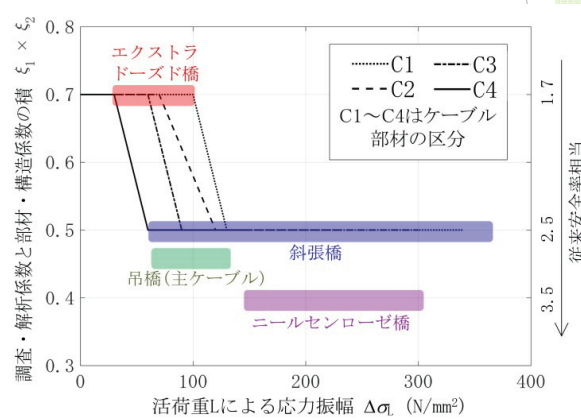
23

研究成果の反映（道路橋示方書）

- ▶ 設立後、H24、H29の改定で研究成果の反映等を通じて重要な役割を果たす
- ▶ 例えば、鋼橋・鋼部材では、新たに疲労設計の章を設け、疲労設計の基本的な考え方、継手の疲労強度等級等を規定（H24改定）
- ▶ ケーブル構造の形式や橋の種類によらず、ケーブル部材で考慮すべき安全余裕を统一的に確保できる方法を規定に反映（H29改定）



(a)死活荷重比率による実績の整理



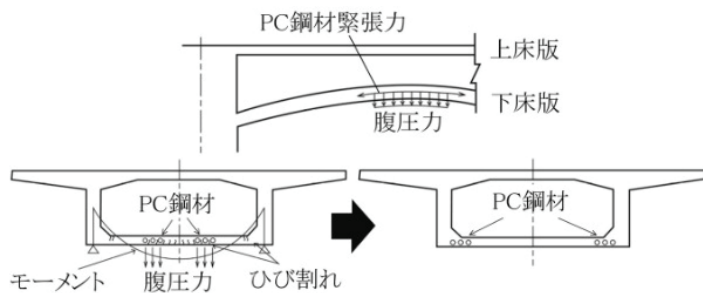
(b)応力振幅による実績の整理

死活荷重比率と応力振幅と部分係数の関係

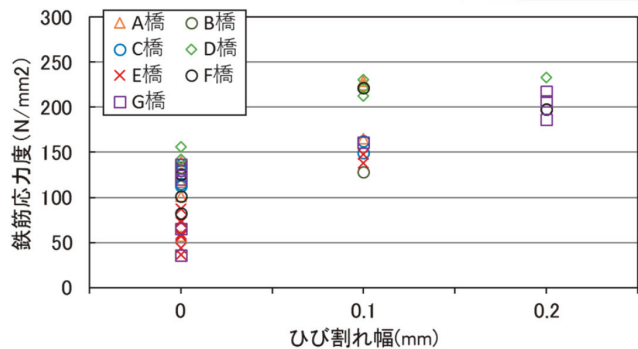
24

研究成果の反映（道路橋示方書）

- ▶ 地震など一時的に大きな荷重の影響を受ける部材について、降伏点の高い鉄筋を使用することが有利となる場合があることを踏まえ、より降伏点の高い鉄筋について適用範囲、許容応力度、曲げ半径を規定（H24改定）
- ▶ コンクリート橋・コンクリート部材では、PC鋼材のプレストレスの分力（腹圧力）による変状防止のため、鉄筋応力度の制限値を規定するなど、腹圧力に対する規定を充実（H29改定）



(a) 腹圧力の影響を考慮したPC鋼材配置



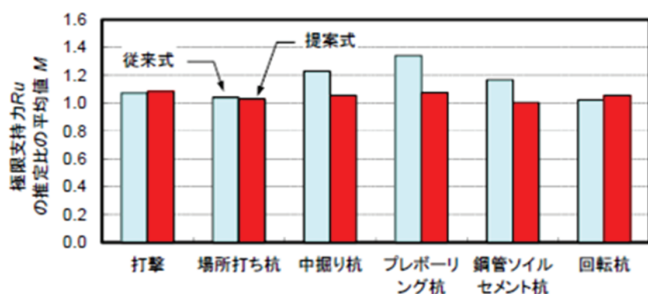
(b) 実測されたひび割れ幅と下床版に配置された鉄筋の応力度（計算値）との関係

腹圧力の影響

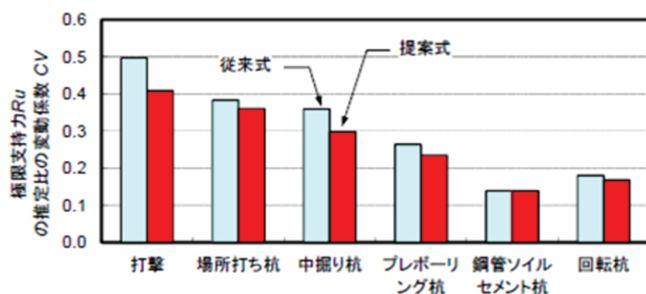
25

研究成果の反映（道路橋示方書）

- ▶ 支承部において腐食などが生じて多大な維持管理費用が生じていたことへの対応として、共同研究に基づき、橋台部ジョイントレス構造の設計法を規定（H24改定）
- ▶ 下部構造では、杭の極限支持力推定式を提案し、従来推定式より精度が向上（H29改定）



(a) 平均 M （1.0 に近いほど良好）



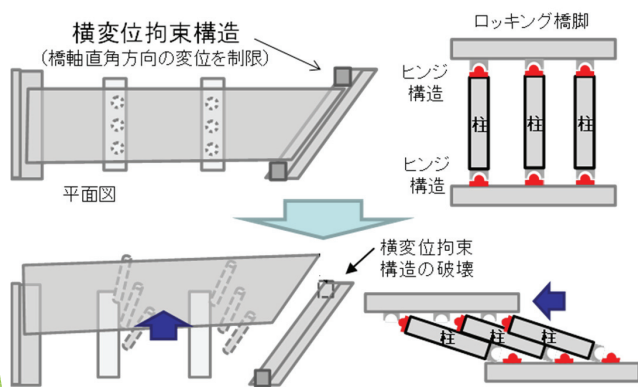
(b) 変動係数 CV （0.0 に近いほど良好）

杭の極限支持力の推定精度の比較（従来式、提案式）

26

研究成果の反映（道路橋示方書）

- ▶ 地震による道路橋の落橋モードの分析等を踏まえ、より合理的に落橋を防止できるように、落橋防止システムの規定を見直し（H24改定）
- ▶ 耐震設計では、H28熊本地震でのロッキング橋脚の被災を踏まえ、支承が破壊しても下部構造が不安定とならず上部構造を支持できる構造形式を規定（H29改定）



ロッキング橋脚を有する橋の想定落橋メカニズム



対策前

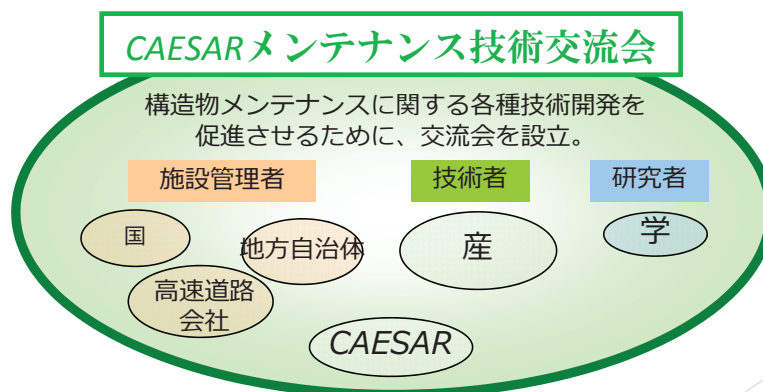


対策後

耐震補強の施工例（国交省HP）

情報交流の場

- ▶ CAESAR講演会：技術者間の交流、最新の技術情報を集積・流通する場
- ▶ CAESARメンテナンス技術交流会：国、地方自治体、高速道路会社という施設管理者、産業界、学界の技術者・研究者が一堂に会する場
- ▶ 交流会を通じて、CAESARが行う実験や保管する撤去部材などを実験フィールドとして提供



技術交流会概念図

情報交流の場

▶ 国際活動（日米橋梁ワークショップなど）

米国運輸省連邦道路庁（FHWA）や各州交通局など政府機関と情報交換を行い、連携を図る



平成26年10月 日米橋梁ワークショップの様子（米国ワシントンDC、ヴァージニア州）



平成30年7月 日米橋梁ワークショップ（実務者による討議）の様子（米国カリフォルニア州交通局）

今後の展望

- ▶ 現場の橋梁における損傷に対して、その発生メカニズムに対応した的確な点検、診断、措置を、現場の技術者ができるよう、網羅的に技術的知見を示す
- ▶ 総合的な診断技術の開発を目指す
- ▶ AIを活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する研究の開始（共同研究来月立ち上げ）

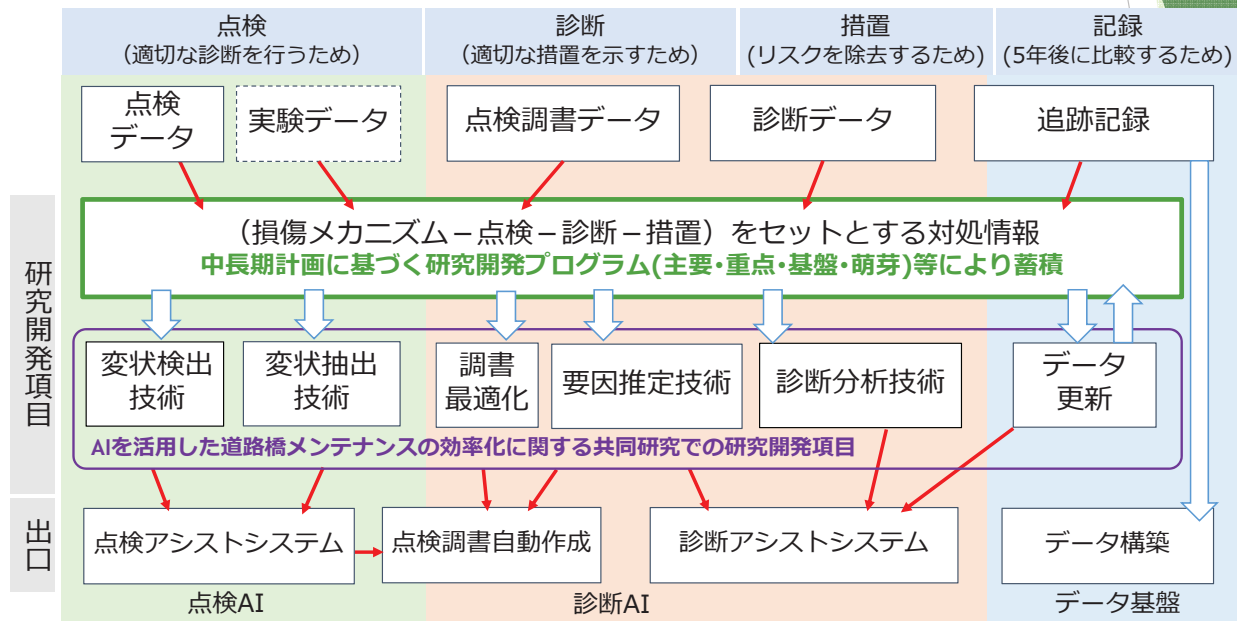
例）PC桁塩害における損傷メカニズム-点検-診断-措置をセットとする対処情報のイメージ

赤字は今後重点的に取り組むべき項目

	進展期（発錆前）	加速期（発錆初期）	劣化期（発錆後期）
劣化メカニズム状態	塩分の拡散 中性化 	腐食発生 ひび割れ 	腐食進展 断面欠損 
点検技術	■ 表面に付着した塩分の把握 ■ 内部に浸透した塩分の把握 ■ 中性化の把握 ※遠隔・非接触・非破壊技術	■ 腐食程度の把握 ※遠隔・非接触・非破壊技術 ■ ひび割れの状態把握	■ 鋼材腐食・断面欠損の程度把握 ■ プレストレスの把握 ■ 鉄筋とコンクリートとの一体化等の把握
診断技術	■ 腐食限界の見極め	■ 耐久性への影響把握（耐荷性の影響）	■ 耐荷力への影響把握（耐力評価の前提）
措置技術	■ 塩分の除去技術 ■ 塩分の遮断技術 ■ 塩分の抑制技術	■ 腐食抑制技術 ■ 断面修復技術	■ 耐荷力回復技術

今後の展望

- ▶ 中長期計画に基づく研究開発プログラムを着実に推進し、損傷メカニズム-点検-診断-措置をセットとする対処情報の蓄積と相まって道路橋メンテナンスのための点検AI・診断AIを開発



31

御清聴ありがとうございました。

32