
設立10周年記念CAESAR 講演会

開催日：平成 30 年 9 月 28 日(金)

会 場：一 橋 講 堂

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)

目 次

■ 基 調 講 演

AI の進化が拓くインフラメンテナンスの未来	3
------------------------------	---

愛媛大学 准教授

全 邦釘 氏

■ 講 演

謎解き 橋の維持・補修	35
-------------------	----

(株) 松村技術士事務所

松村 英樹 氏

CAESAR 設立 10 年の研究活動と展望	61
------------------------------	----

CAESAR 橋梁構造研究グループ長

金澤 文彦

道路橋のメンテナンスサイクルにおける AI 技術の活用	77
-----------------------------------	----

CAESAR 上席研究員

石田 雅博

道路橋の支承に求められること	97
----------------------	----

CAESAR 上席研究員

大住 道生

基 調 講 演

AIの進化が拓く インフラメンテナンスの未来

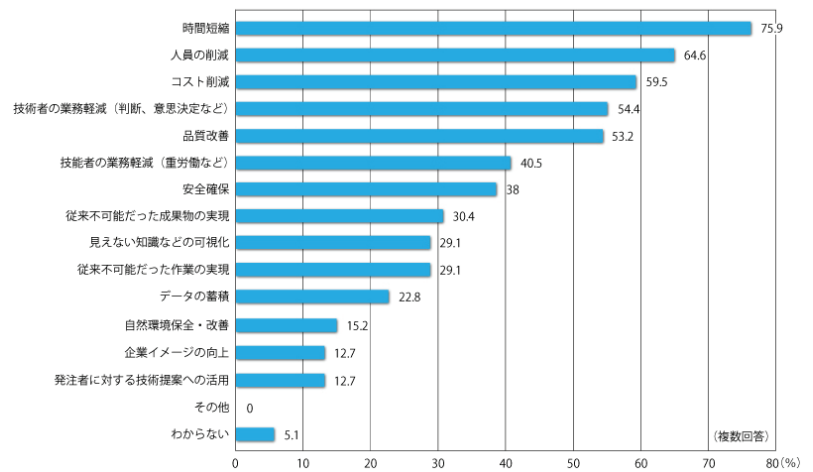
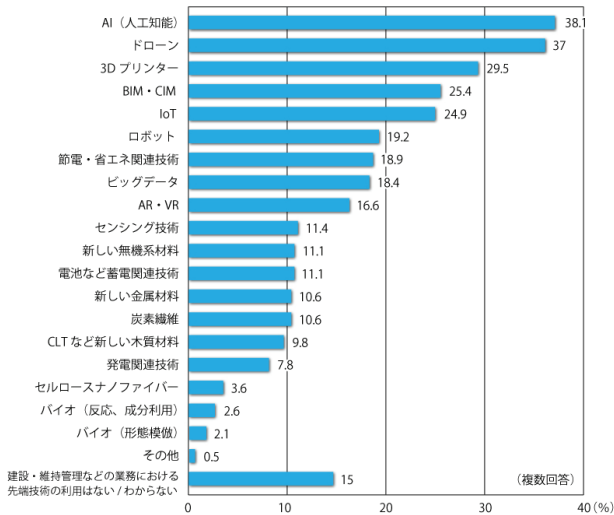
愛媛大学大学院 理工学研究科 准教授
全 邦 釘 (ちょん ぱんじょ)

2018/9/28 設立10周年記念CAESAR講演会@一橋講堂

自己紹介

- 東京大学で土木を学ぶ(学部・修士)
- Wayne State University(米国)で橋梁設計・解析により生計を立てながらPh.D.を取得
- Yonsei University(韓国)でコンクリートの研究
- 愛媛大学で橋梁・舗装の維持管理+ICT技術についての研究
- 内閣府SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」地域実装チーム研究責任者
- 土木学会「構造工学でのAI活用に関する研究小委員会」委員長
- 問い合わせはchun@cee.ehime-u.ac.jpまで

AIの人気

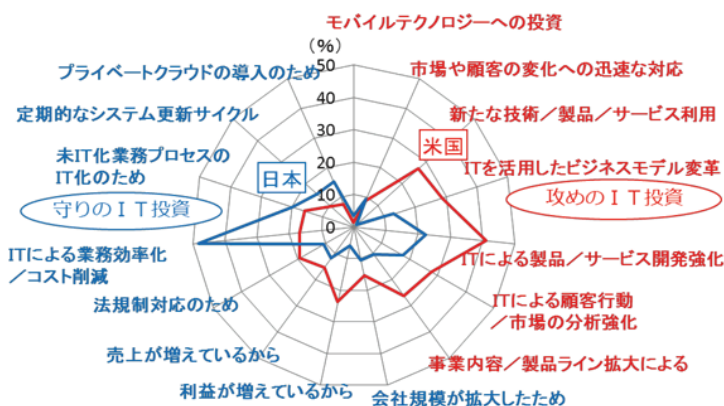


Q1 : 今後、建設・維持管理などの業務で役立てたい先端技術は？

Q3 : AIを活用した技術に期待する効果は？

ICT技術の現在・未来

- ・ 日本企業: 業務効率化・コスト削減を目的とした「守りのICT投資」(従来型の延長)
- ・ 米国企業: 「ICTによる製品・サービス開発強化」, 「ICTを活用したビジネスモデル変革」などの「攻めのICT投資」(業務形態の拡張・変革)



攻めのICT投資に必要となるのは、

- 短期的な利益を追求しない姿勢。
- 初期投資に対する理解。
- 将来像に対する想像力
- 目標・目的を設定する能力・哲学・気概

AIが人気なのは・・・
目標・目的を設定せずとも人間を幸せにしてくれるという誤解？

IT予算を増額する企業における増額予算の用途の日米比較

出典) JEITA「ITを活用した経営に対する日米企業の相違分析」(2013年10月)

人工知能とは

●人工知能学会誌より引用

- 人工的につくられた、知能を持つ実体
- 人間の頭脳活動を極限までシミュレートするシステム
- 人間と区別がつかない人工的な知能
- 人工的につくられた人間のような知能
- 人の知的な振る舞いを模倣・支援・超越するための構成的システム
- 知能の定義が明確でないので、人工知能を明確に定義できない

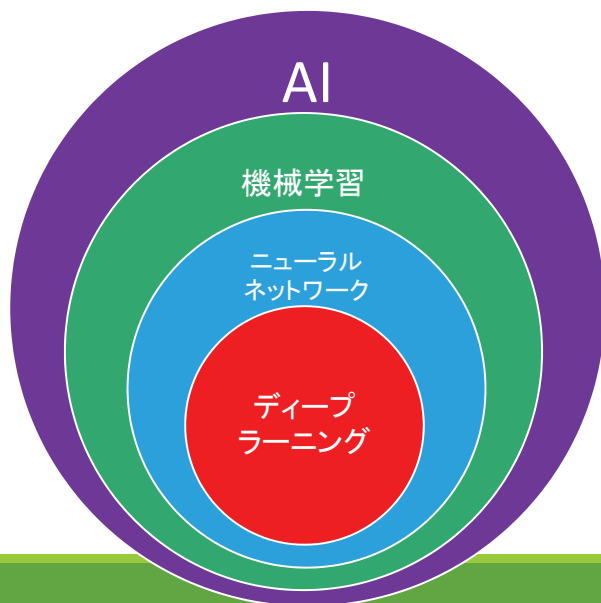
●強いAIと弱いAI

- 強いAI・・・**汎用の人工知能**、人間の知能に迫る、人間のように意識を持っている。
ドラえもんとかアトム。
- 弱いAI・・・**特化型の人工知能**、心を持つ必要はなく、限定された知能によって一見知的な問題解決が行えればよいとする立場。自分で考えず、所定の手続きにしたがって処理を実行するだけの人工知能。
役に立つ人工知能という意味で、Intelligence amplifier(IA)とも呼ばれる。

(特化型AIという前提の上で)人工知能とは

- 人工知能とは、人間の知的営みをコンピュータに行わせるための技術のこと、または人間の知的営みを行うことができるコンピュータプログラムのことである。(IT用語時点バイナリより)
- 人間や生物の知能を、機械によって実現したもの、あるいはその研究分野。
具体的には、コンピュータを処理の中心とし、各種入出力機器を結合したシステムである。
その主要なテーマは、チェス、将棋等のゲームを典型的問題とする問題解決・推論、文字、パターン等の認識、言語の理解、診断等の現象の分析、経験からの学習等がある。
(日本オペレーションズリサーチ学会)
- 学習・推論・判断といった人間の知能のもつ機能を備えたコンピューターシステム。(大辞林)
- 現在の人工知能は、膨大なデータと機械学習アルゴリズムに頼った技術でしかありません。
単に、「データから作り出されるブラックボックス化されたなにかをやってくれるもの」がいまの人工知能です。なんでもかんでも人工知能で解決できるというわけではありません。
(橋本泰一:「データ分析のための機械学習入門」(2017)の序文より)

AIと機械学習とディープラーニング



ディープラーニングの機械学習との違い：
特徴量を自動的に獲得できる。
(特徴量とは、データの中のどこに
注目するかということ)

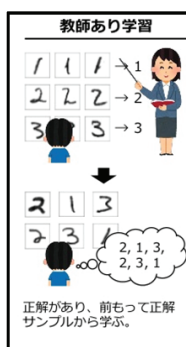
7

教師あり機械学習

特徴量

萼片 の長さ	萼片 の幅	花弁 の長さ	花弁 の幅	種類
5.1	3.5	1.4	0.2	Setosa
5.1	3.7	1.5	0.4	Setosa
7.0	3.2	4.7	1.4	versicolor
5.1	2.5	3.0	1.1	versicolor
6.3	2.9	5.6	1.8	Virginica
5.9	3.0	5.1	1.8	virginica
6.4	3.1	5.5	1.8	?

アヤメの分類



こういった問題を解く機械学習手法としては、
ニューラルネットワーク・Random Forest...
様々な方法がある。

特に機械学習に頼らずとも、エクセルで出来るような
重回帰分析などで出来るのでは？

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \alpha$$

→ 出来る。

では機械学習手法の存在意義は？
→用いる側としては、主に予測精度

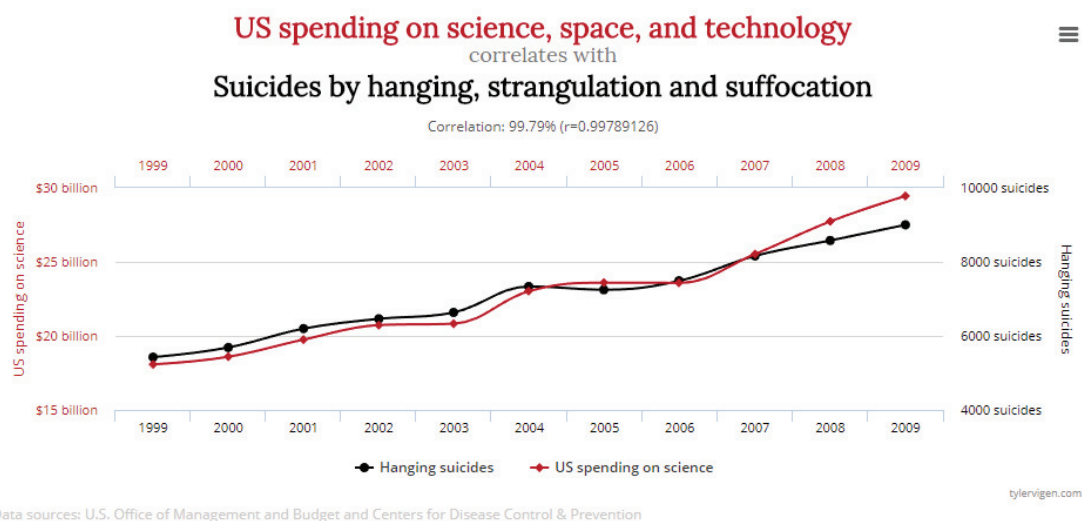
8

現状のAIは・・・

- 精度の非常に高い分類・回帰
- ただし、魔法のツールではない。
現状のAIは内挿であり、外挿ではない。
- ビッグデータによる高密度な内挿が精度を高める。
データを大量に集めて解析する。
- そうしたプロセスで得られるのは相関関係である。
(因果関係ではない)

9

相関関係の危険性の1つ：擬似相関の例



<http://www.tylervigen.com/spurious-correlations>より

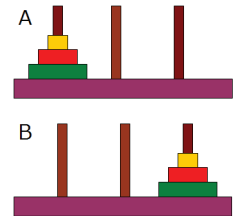
10

AIの歴史

- 第1次AIブーム(1956～1960年代):探索・推論の時代「知能＝探索能力」

- ダートマスワークショップ(1956)
 - 人工知能(Artificial Intelligence)という言葉が決まる
 - 世界最初のコンピュータENIAC(1946)のわずか10年後
- 数学の定理証明、チェスを指す人工知能等

考えるのが早い人工知能



- …冬の時代

- 第2次AIブーム(1980年代):知識の時代

- エキスパートシステム
- 医療診断、有機化合物の特定、...
- 第5世代コンピュータプロジェクト:通産省が570億円

「知能＝知識」

ものしりな人工知能

「知識獲得のボトルネック」

- …冬の時代

- 第3次AIブーム(2013年～):機械学習・ディープラーニングの時代「知能＝学習」

- ウェブとビッグデータの発展
- 計算機能力の向上

データから学習する人工知能

http://www.soumu.go.jp/main_content/000400435.pdfより

現状の性能理解と、将来への期待

➤なぜかAIの話においては、

- ・**現状**で実現できること
- ・**近い未来**に実現しそうなこと
- ・**遠い未来**にならないと実現しそうもないこと

が同じテーブルに載せられて議論されている。

➤期待と実際を合わせるため、AIで出来ることを知るべき。

➤内挿で何が出来るか、という整理の仕方が有効

➤出来ることをやる、出来ないことをやらない、というのはAIに限らず大切なこと。

第三次AIブーム

翻訳

最近, Google翻訳の能力がすごく向上していることに気付かれていますか。

膨大な英訳和訳例, 自然な日本語文章例, 自然な英語文章例を集め, やはり内挿

日本語 英語 韓国語 言語を検出する

英語 日本語 韓国語 翻訳

父は母がバッグを忘れたことを怒った

My father got angry that my mother forgot her bag.

17/5000

情報の修正を提案

日本語 英語 韓国語 言語を検出する

英語 日本語 韓国語 翻訳

父は母が鞆を忘れたことを怒った

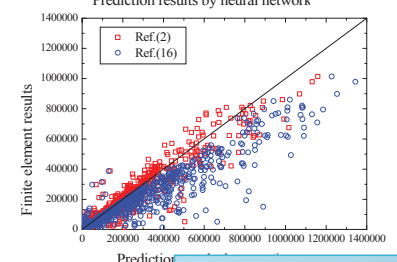
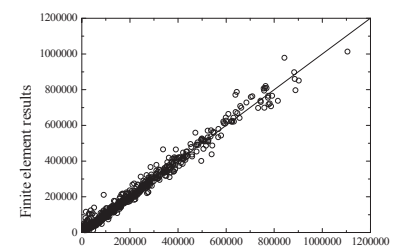
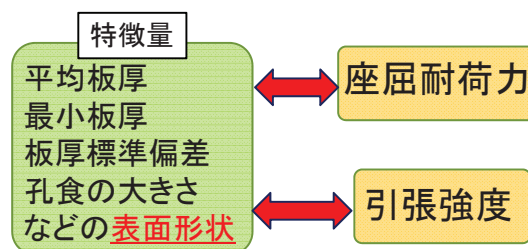
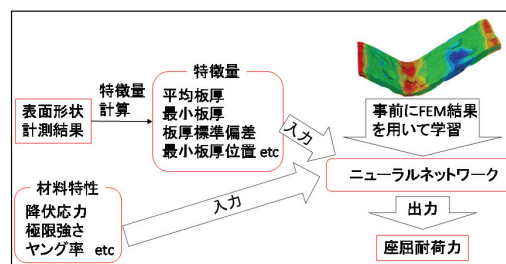
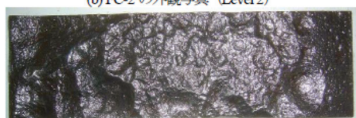
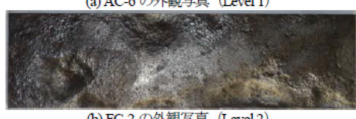
My father got angry that my mother forgot his bag.

15/5000

情報の修正を提案

山本一成「人工知能はどのようにして「名人」を超えたのか」記載の例を自分で2017/7/18に試した結果

腐食鋼板の残存耐力

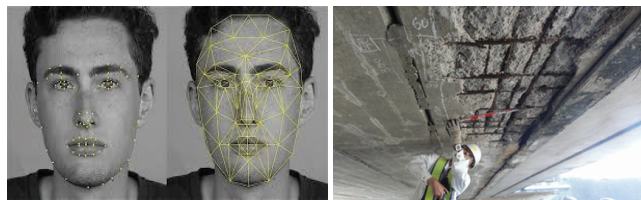


予測精度の向上

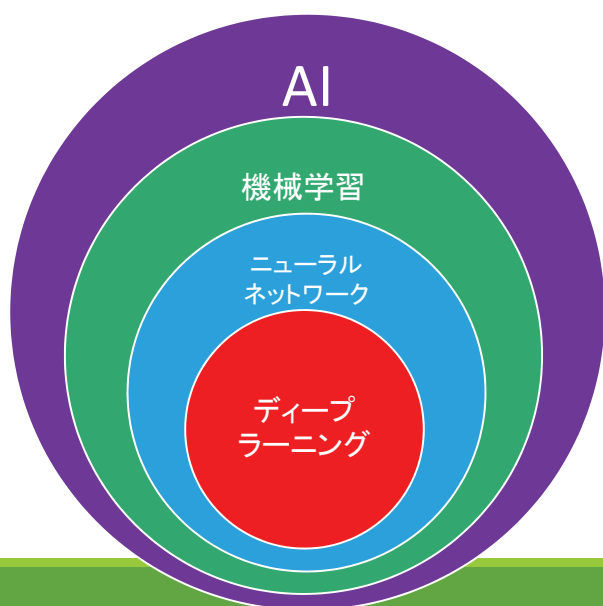
C.N.N. Karina, P. Chun et al. Steel and Composite Structures, Vol. 24(5), pp.635-641, 2017.

従来型の機械学習の課題

- 特徴量の設計が大変。データの中のどこに注目するかを手作業で設定するには、どれほど対象を熟知していたとしても限界がある。
- 例えば人間なら、橋のどこを見ればいいのかわかる。例外にも対応可能。
- 手作業で定めることが出来る程度のオーダーの特徴量では、環境や状況の変化、例外、そういったものに対応することができない。
- この解決が出来る可能性があるのが、「ディープラーニング」



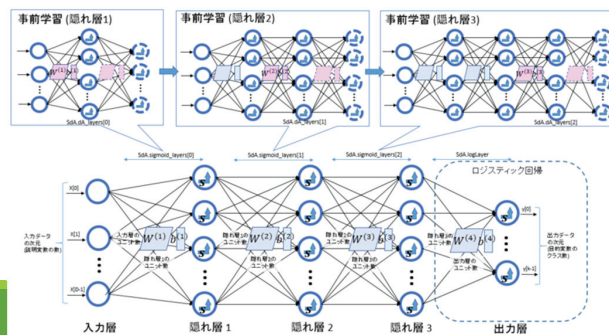
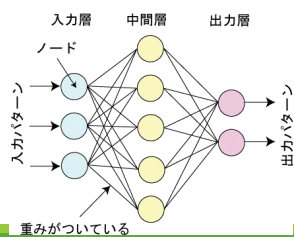
AIと機械学習とディープラーニング



ディープラーニングの機械学習との違い：
特徴量を自動的に獲得できる。
(特徴量とは、データの中のどこに注目するかということ)

ディープラーニング

- 画像分類で圧倒的な精度
- 囲碁では過去十数年世界トップ、あるいはトップクラスだった棋士を破る (AlphaGO)
- 十分なデータ量があれば、人間が介在しなくても特徴量を自動で獲得してくれるという特長を持つ
- 多層構造のニューラルネットワークを用いた機械学習 (Wikipedia)
- 多層構造にしたことで何が変わる？



特徴量の自動抽出

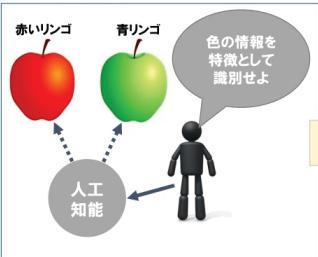
1. 第三次AIブームの到来

ディープラーニング (深層学習) とは

従来の機械学習とディープラーニングの違い

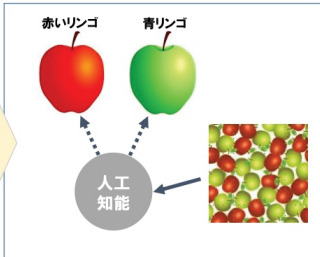
- ディープラーニング (深層学習) は、機械学習の手法の一つ
- 従来の機械学習では、人間が特徴を定義
→ 複雑な特徴を表現できない
- ディープラーニングでは、人工知能が学習データから特徴を抽出

従来の機械学習



人間が特徴を定義

ディープラーニング

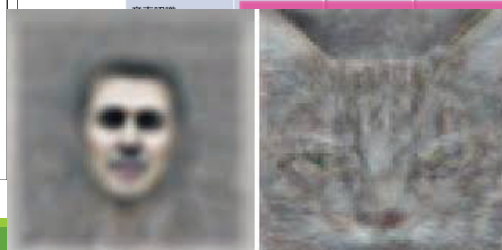


人工知能が学習データから特徴を抽出

2. 実用段階に入ったディープラーニング

ディープラーニングの適用領域

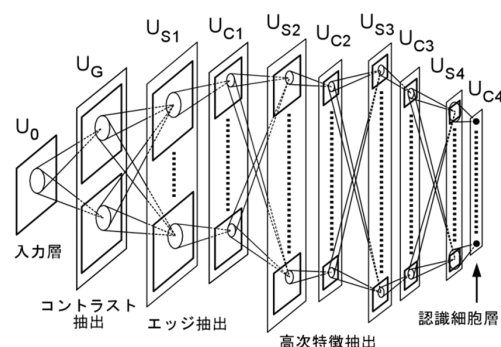
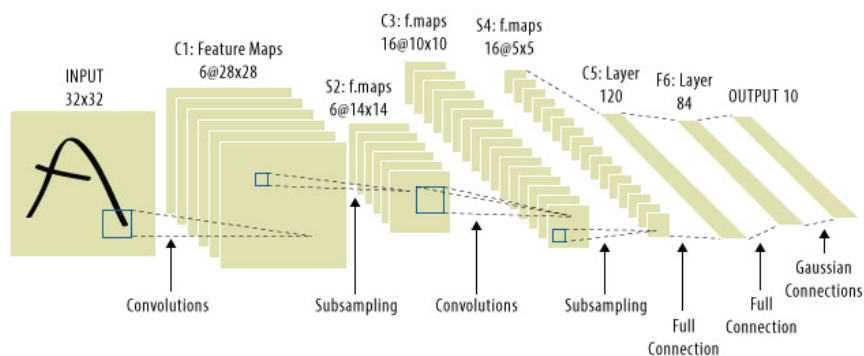
- ディープラーニングの主な適用領域は、「音声認識」、「画像認識」、「言語処理」の3つ
- 1. 音声認識: Skype Translatorで活用されるなど、システムへの適用が拡大中。
- 2. 画像認識: 物体認識率が大幅に向上。
商品検索、商品検査、衛星画像処理などで商用利用が拡大中。
- 3. 言語処理: 全般的には研究段階だが、機械翻訳などへの実適用も始まる。
- ロボットなどの制御、異常検知、マーケット分析、不正検知などの分野での利用も拡大しつつある。



野村総研HPより

特に画像認識・解析に強い

畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network: CNN)と呼ばれる方法が非常に強力



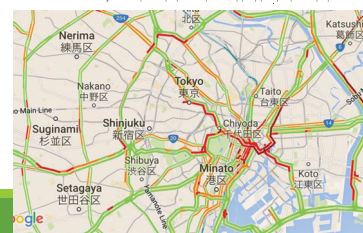
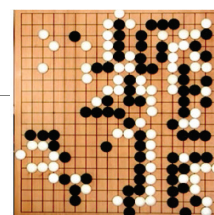
ネオコグニロン

<https://dbnst.nii.ac.jp/pro/detail/498より>

<http://systemdesign.altera.co.jp/can-you-see-using-convolutional-neural-networks/>より

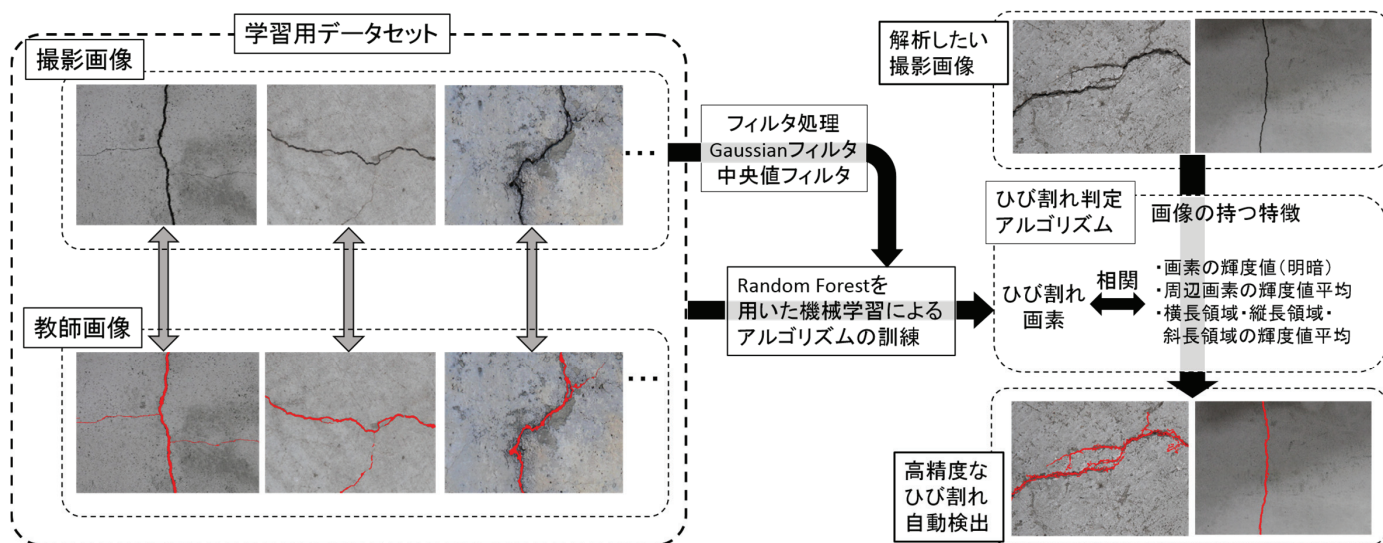
特に画像認識・解析に強い

- 畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network: CNN)と呼ばれる方法が非常に強力
- 強力なので、これまでの研究のやり方では画像として扱わないようなものまで無理やり画像に変換して解析している事例も多い
 - Alpha GO
 - 振動波形を一次元画像として
 - コンクリートのクラック(疲労など)
 - 腐食減肉
 - 交通ネットワーク etc
- 理にかなっていないようで、案外理にかなっている側面も。人間は、上記の内容も結構視覚的に判断している。



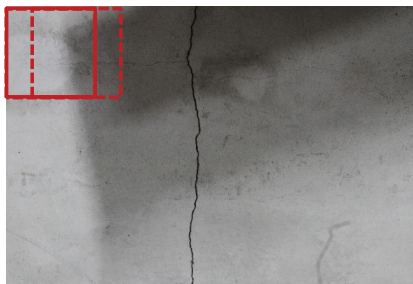
維持管理分野, 防災分野での 適用例

コンクリートのひび割れ自動検出



全 邦釘, 井後 敦史:土木学会論文集Vol71(2), pp.I_1-I_8, 2015.

ディープラーニングによるスクリーニング手法



撮影画像: 3456 × 5184ピクセル

学習データ: 256 × 256の小領域に分割する
(64ピクセルずつずらしながら切り取る)

モデル: GoogLeNetをマイナーチェンジしたもの

2種類のモデルを用いて、各画像がそれぞれのクラスに属する確率を算出する

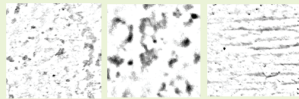
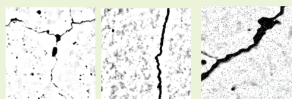
モデル1 ひび割れの大まかな位置を検出

Crack Noncrackの2クラスに分類

データ概要

Crack : 973248枚

Noncrack : 1000000枚



モデル2 直線(継ぎ目)を検出

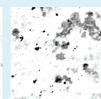
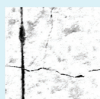
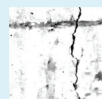
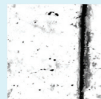
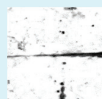
line line-crack non-lineの3クラスに分類

データ概要

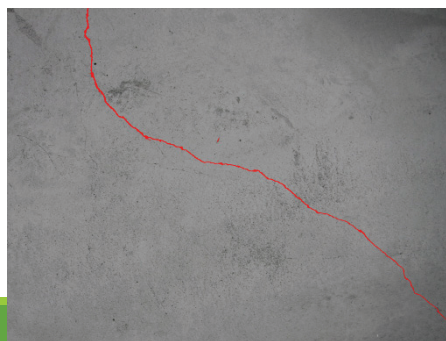
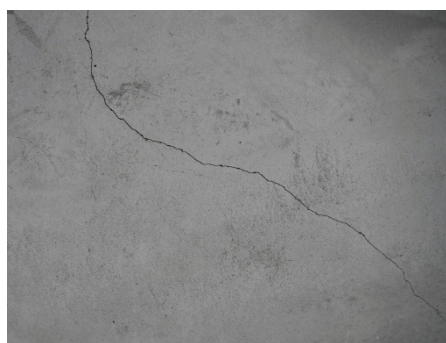
Line : 10570枚

Line-crack : 10029枚

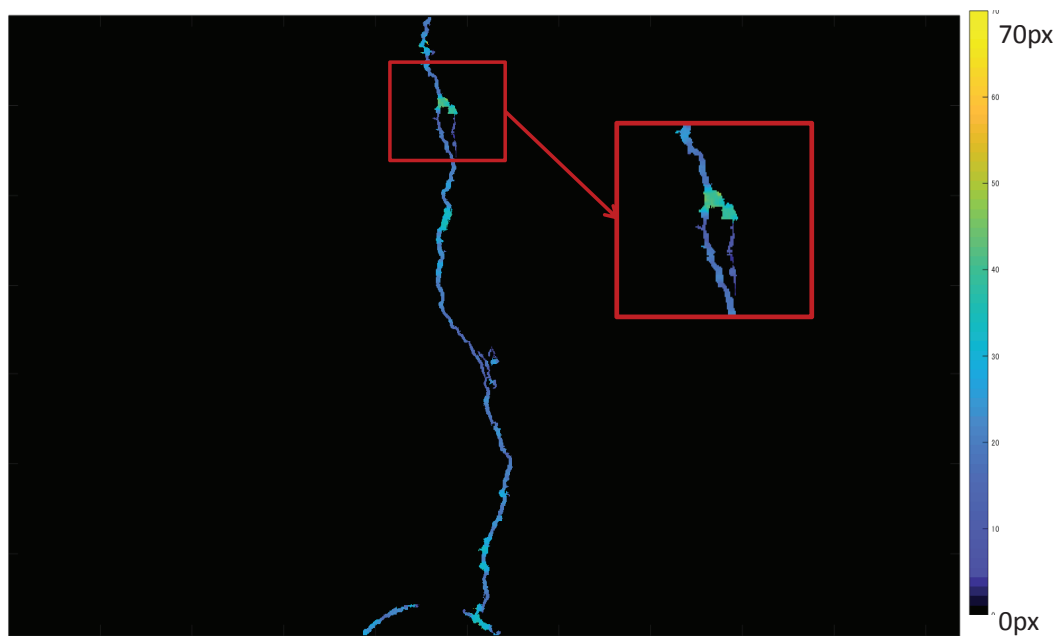
Non-line : 10579枚



検出結果1



検出結果3

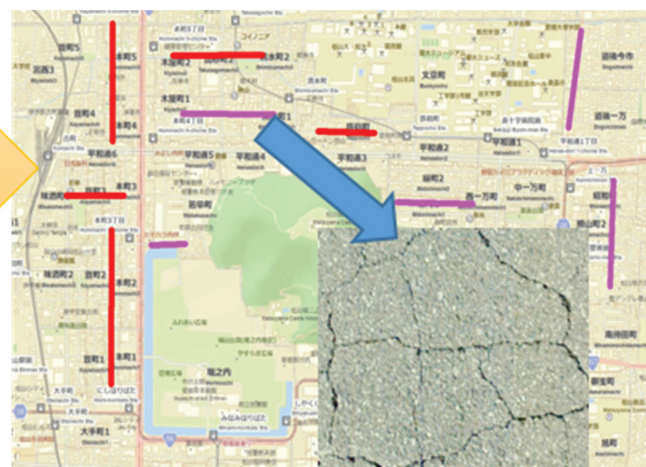


ひび割れ幅の可視化結果

ディープラーニングによる舗装損傷検出



GISへのマッピング

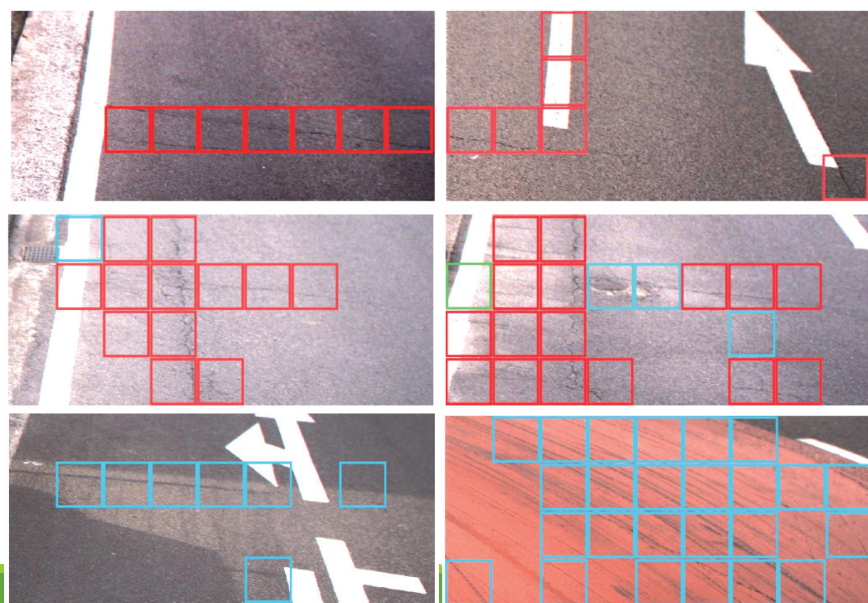


亀甲状ひび割れと判定

車を走らせるだけで、悪い舗装が自動的にマッピングされるシステム

全 邦釘ら, 土木学会論文集E1, Vol.73(3), pp.I_97-I_105, 2017.

解析結果



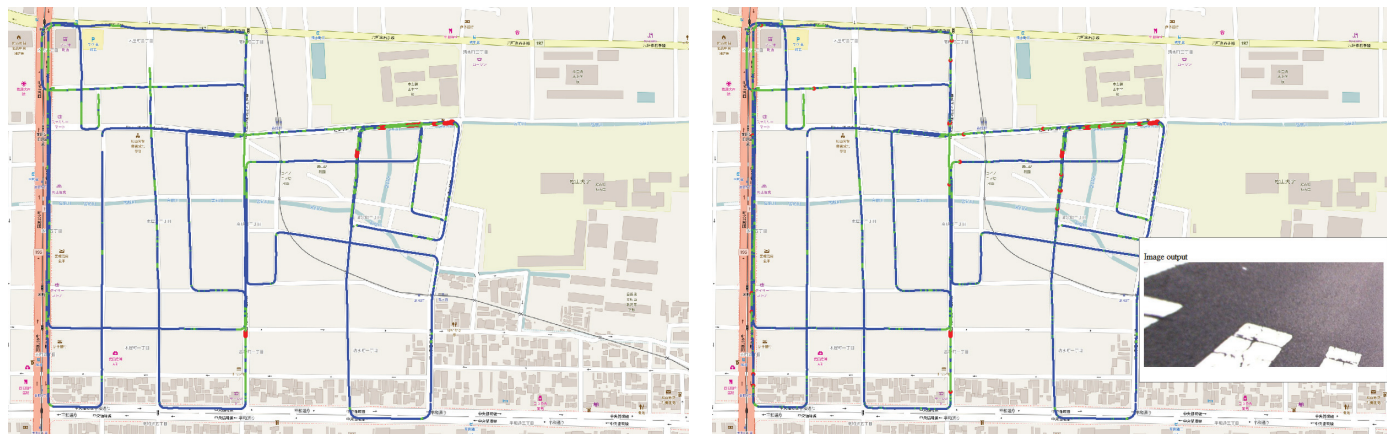
解析による分類結果(6クラス)の混合行列

解析 目視	1	2	3	4	5	6
1	1664	112	42	53	38	91
2	48	1703	40	73	75	61
3	52	9	1652	175	55	57
4	22	41	271	1524	37	105
5	163	20	179	99	1352	187
6	96	60	100	85	241	1418

解析による分類結果(2クラス)の混合行列

解析 目視	ひび割れあり	ひび割れなし
ひび割れあり	5197	803
ひび割れなし	930	5070

GIS上へのマッピング(管理システム)



衛星による災害被害モニタリング

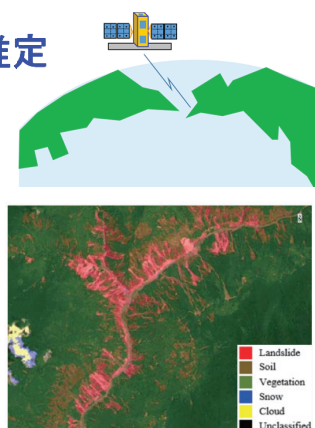
被害分布情報の把握体制

- 実務上は、各公的機関による**現地確認などの情報を集約**
- 研究段階では、震度などの情報に基づく**間接的な即時被害推定**

衛星による撮影画像からの災害被害の検知

- 光学衛星画像やSAR衛星画像の活用
- 地滑り, 火山, 洪水, 津波, ...
- 高解像度も進んでおり, **構造物被害などミクロレベルの被害検知に対する適用の研究**も進められている

**大量の仕事の自動化, 高速化
→災害時に求められる**



2015年ネパールゴルカ地震による
斜面崩壊域の抽出(土田 他, 2016)

衛星による災害被害モニタリング

研究目的:

衛星画像に対する深層学習手法の適用による,
大地震時における1棟単位での住宅被害の自動判別手法の開発

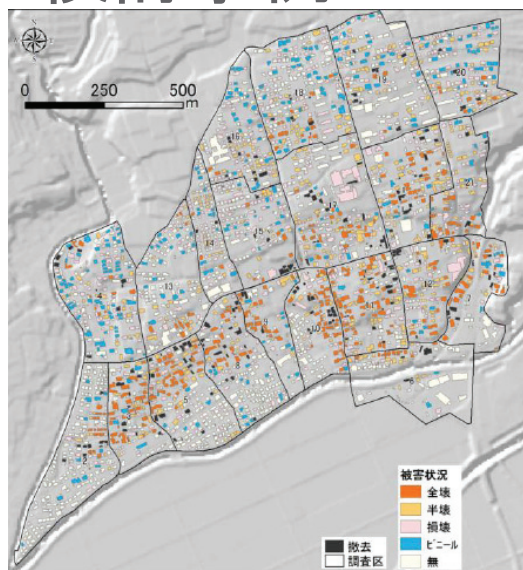
1. 衛星画像からの個別住宅画像の抽出手法の開発
2. 抽出された住宅画像に対する, 被害判定のための深層学習モデルの開発と検証

→ ・1棟単位での住宅被害分布を即座かつ直接的に検知する技術を実装
・災害被害の全体像の把握を迅速化し, 災害直後の対応の効率化を図る

大量の仕事の自動化, 高速化

31

検討事例



全数調査による熊本県益城町の被害分布
(黒木 他, 2016)



光学衛星画像による被災後の益城町撮影画像
(2016/4/29撮影, 1.5m分解能)

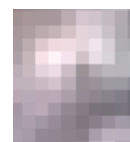
山梨大学
宮本先生提供

検討事例

熊本地震時の光学衛星画像を用いてCNNによる学習・分類を試行

データ概要

- 訓練データ: 全壊住宅画像254枚, 無被害住宅画像253枚
 - 90°回転4パターン×鏡像反転2パターン→8倍にデータ拡張
- 検証データ: 全壊画像254枚, 無被害画像536枚
- 各画像を20×20ピクセルにリサイズ



(a)全壊画像



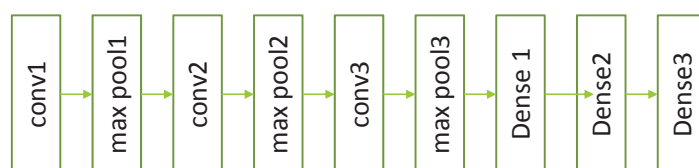
(b)無被害画像

訓練データとなる画像例
(リサイズ前:1.5m分解能)

全体正解率 約75%

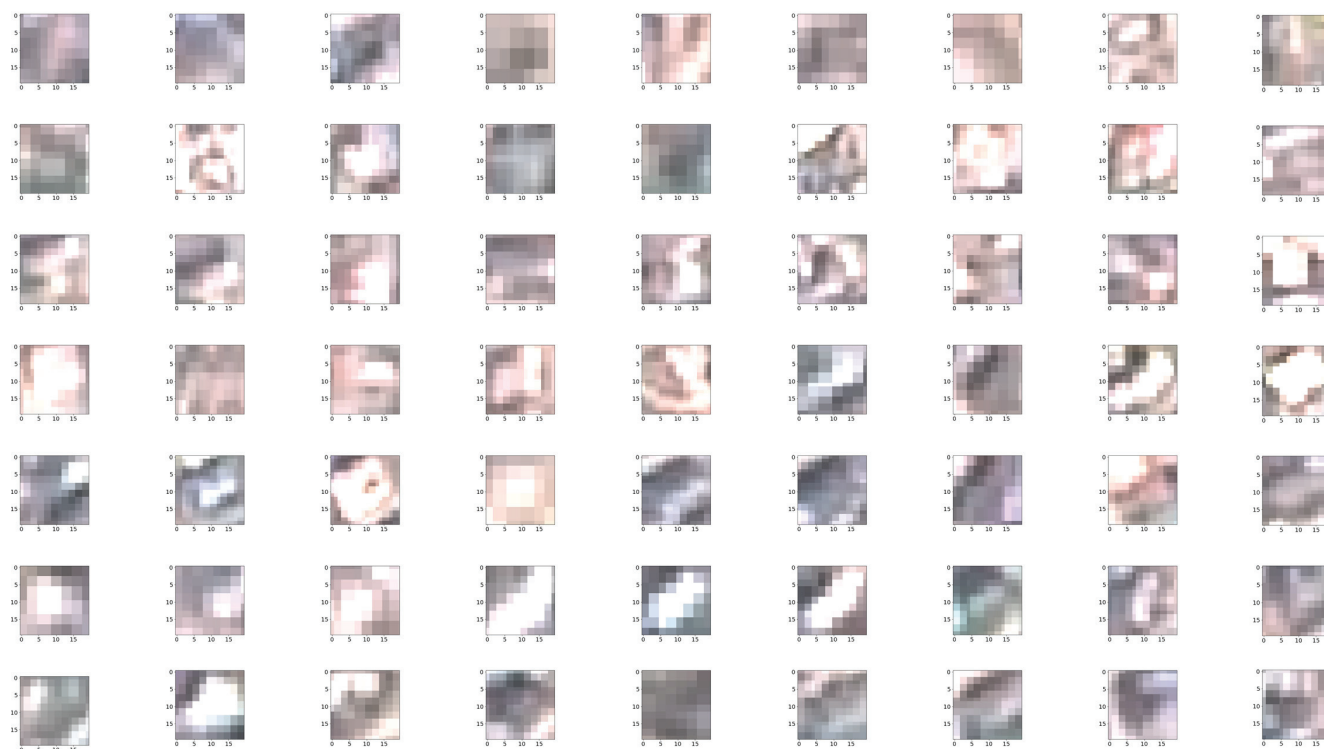
全壊画像判定: 140/254

無被害画像判定: 451/536



山梨大学 宮本先生提供

検証データ





現在のAIの得意なこと

人間の代替・
補完AI

超人間AI

- ◆ 人間の作業の自動化に非常に強い
- ◆ 超高次元の特徴空間の中の判断
- ◆ 損傷検出・顔認識・自動運転etc
- ◆ イノベーションの創出
- ◆ 異次元のデータ収集
- ◆ AI+ビッグデータによる特異点発見

精度のよい内挿を活かすという視点
大規模データの収集・整理が結局のところ重要である
解釈性と性能のトレードオフに留意

将来的な維持管理プロセスへの応用

- 分類・回帰・検出に対して非常に強力ではあるが・・・
- 論理についてのアプローチが、現在・将来を考えた時に必須となる.
 - 論理的な診断結果が措置のために必要
 - 論理的な診断結果なしに措置を正確に行うのは難しい.
意図を全て伝えられるロボットが出来るようになるほうが早い感じがする.
- 自然言語処理との連携
- 知識ベースのシステムとの連携

ドローン・ロボットの実証実験(SIP)

愛媛県東温市新横河原橋において実施(2017/11/21)

1. 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システム
(新日本非破壊検査株式会社)
2. 複眼式撮像装置を搭載した橋梁近接目視代替ロボットシステム
(富士フイルム株式会社・株式会社イクスリサーチ・首都高速道路技術センター)

産官学、県内外から150名を超える参加者・多数のマスコミ報道

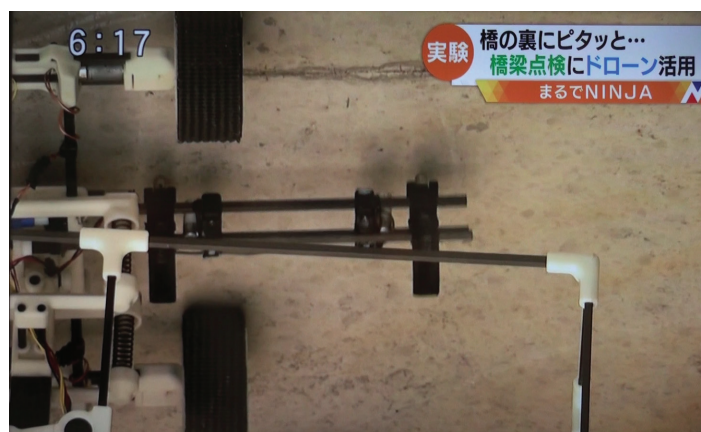
ドローン・ロボットの実証実験



ドローン・ロボットの実証実験

愛媛県東温市新横河原橋において実施(2017/11/21)

産官学、県内外から150名を超える参加者・多数のマスコミ報道



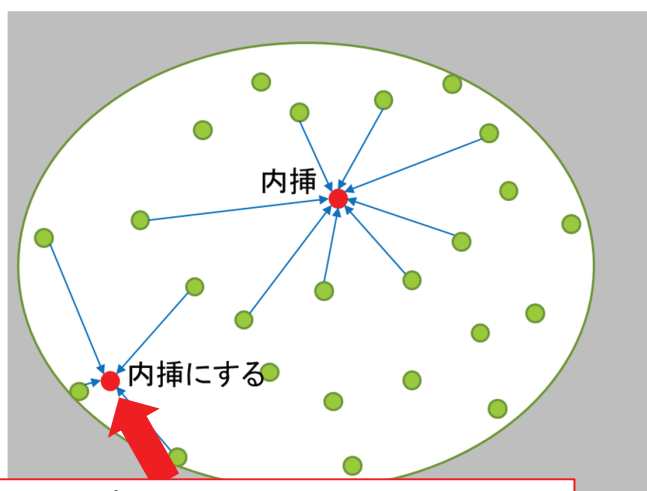
(あいテレビ・Nスタえひめより)

ドローン・ロボットによる点検

現状、高所や狭隘部にあり、アクセスしづらいところでも見る／叩くことができる。でも・・・

- 自動的に、自律的に見るべき部分に飛んでいって見て欲しい
 - 内挿できないような、データからはわからないものに対しても判定ができるようにする(外挿)
 - 損傷原因のストーリーを構築し、説明・解釈できるようにする
- ✓画像や言語などの入力情報を**抽象化**し、状況・意味・境界条件を理解した上で、**演繹的な解釈**を行いたい
- ✓演繹的な解釈が難しくとも、損傷の様子、原因、対策を言語的に表現したい。
- ✓効果的な補修補強手法を考え、自動的に行ってほしい

外挿の手段



知識の転移
抽象化・モデル化による演繹的解釈

人間は、外挿したい(しないといけない)シーンでは、類似の経験をもとに外挿を行う。
(知識の転移・モデル化／抽象化)

画像や言語などの入力情報を**抽象化**し、状況・意味・境界条件を理解した上で、**演繹的な解釈**、**仮説推論**を行う

あるいは、実験・解析などにより、データ集合を広げて、内挿にするようにする。

写真の説明 (Image Captioning) による抽象化



I think it's a group of people posing for a photo and they seem 😊😊😊😊😊😊😊😊.

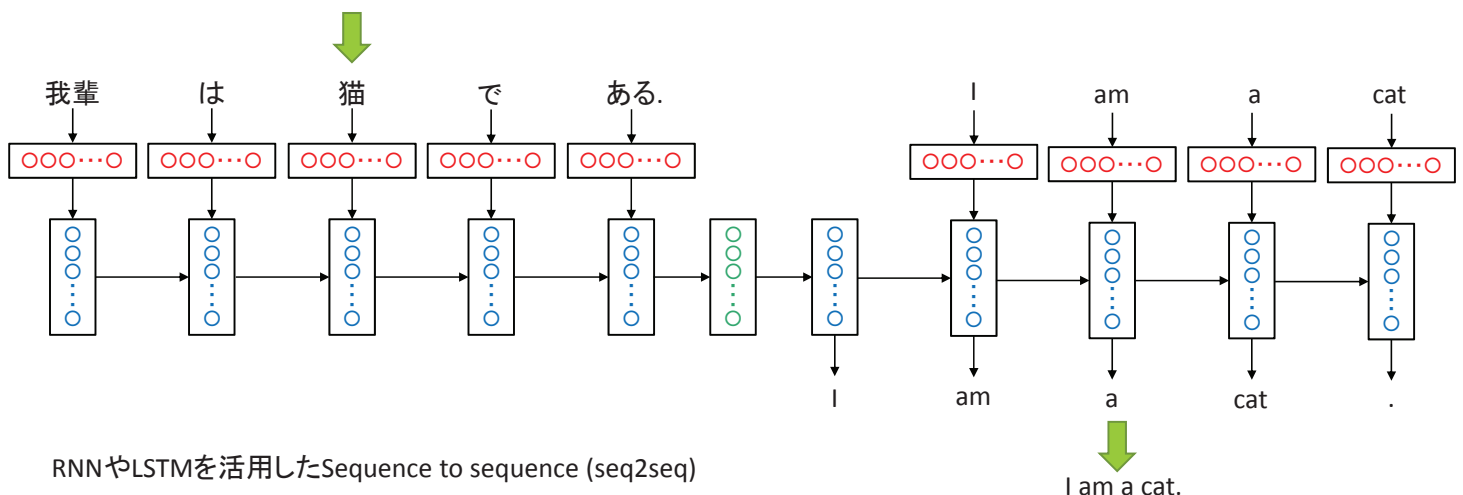


I think it's a car driving on a city street filled with lots of traffic.

<https://www.captionbot.ai/>

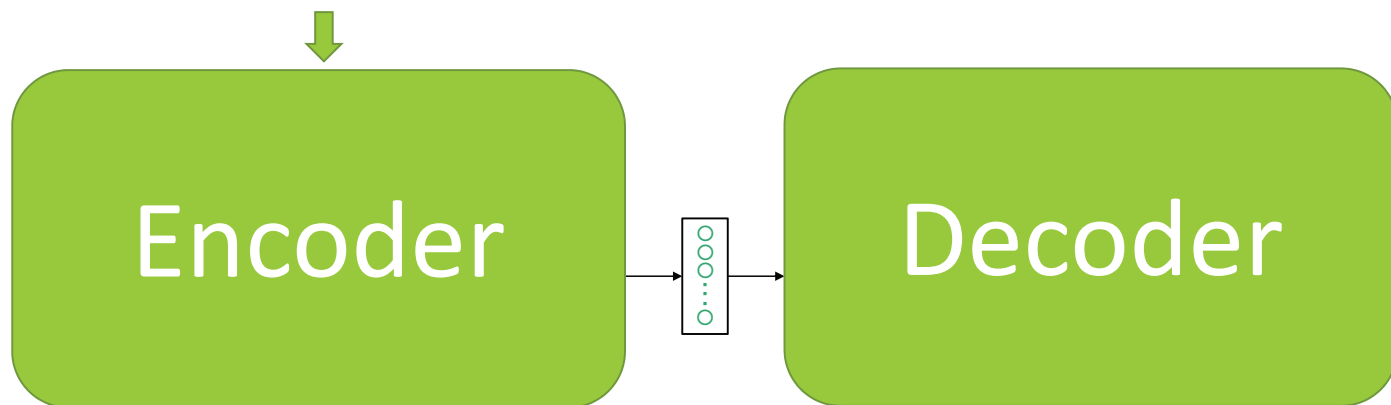
Encoder-Decoderモデル(翻訳の場合)

吾輩は猫である。



Encoder-Decoderモデル(翻訳の場合)

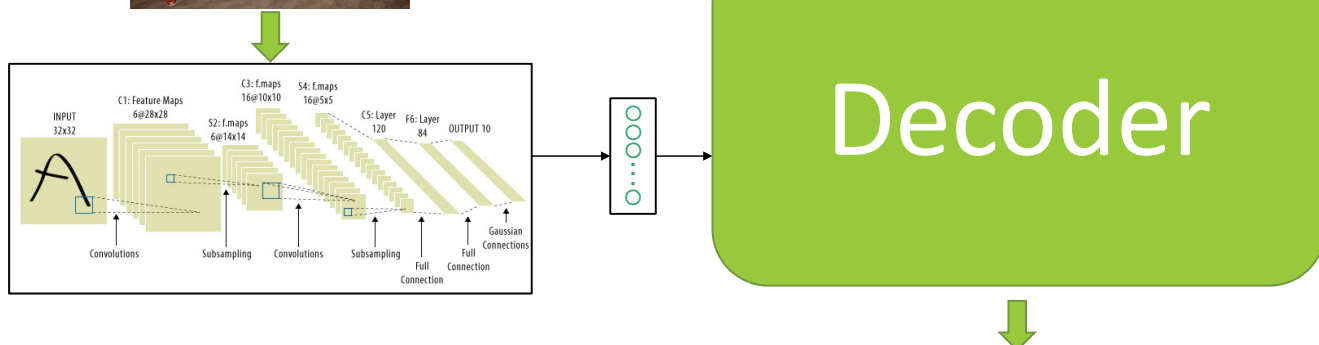
吾輩は猫である.



RNNやLSTMを活用したSequence to sequence (seq2seq)

↓
I am a cat.

Image caption generationへの応用



RNNやLSTMを活用したSequence to sequence (seq2seq)

I think it's a group of people posing for a photo and they seem 😄😄😄😄😄😄

写真の説明 (Image Captioning) による 抽象化



排水口が腐食している



床版に遊離石灰がある



路面に亀甲状ひび割れがある



桁端が腐食している



床版にひび割れ
遊離石灰がある



路山している



抽象化により状況説明ができれば
それを解釈したい. そのために知識が必要

エキスパートシステムなど知識ベース システムによる理解・対策決定

エキスパートシステムは、一般的には時代遅れとされている。

ところが、土木の場合、文脈で規定された知識で有用な知識が一定数あるため、**エキスパートシステムの活用は有効に働く可能性がある。**

例外に弱いけどピンポイントの知識に強い

例：丸鋼が使われている橋梁は昭和40年代より前に建設された橋

パラペットのひび割れは橋台の移動や沈下が原因

F11TやF13Tは遅れ破壊の危険性がある

(日経コンストラクション 老朽橋探偵と学ぶ 謎解き！橋の維持・補修より)

特に、データドリブンなAI解析を行う前段階として有用か？

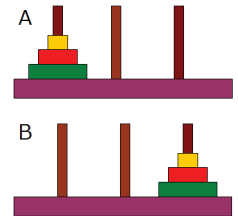
他、知識ベースのシステムとして、オントロジーがある。

AIの歴史

第1次AIブーム(1956～1960年代):探索・推論の時代 「知能＝探索能力」

- ダートマスワークショップ(1956)
 - ・ 人工知能(Artificial Intelligence)という言葉が決まる
 - ・ 世界最初のコンピュータENIAC(1946)のわずか10年後
- 数学の定理証明、チェスを指す人工知能等

考えるのが早い人工知能



...冬の時代

第2次AIブーム(1980年代):知識の時代

- エキスパートシステム
- 医療診断、有機化合物の特定、...
- 第5世代コンピュータプロジェクト:通産省が570億円

「知能＝知識」

ものしりな人工知能

「知識獲得のボトルネック」

...冬の時代

第3次AIブーム(2013年～):機械学習・ディープラーニングの時代 「知能＝学習」

- ウェブとビッグデータの発展
- 計算機能力の向上

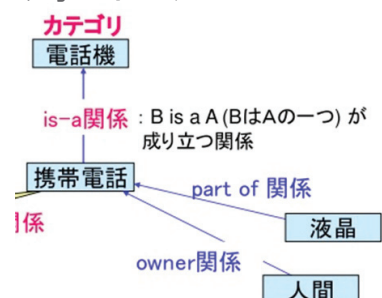
データから学習する人工知能

http://www.soumu.go.jp/main_content/000400435.pdfより

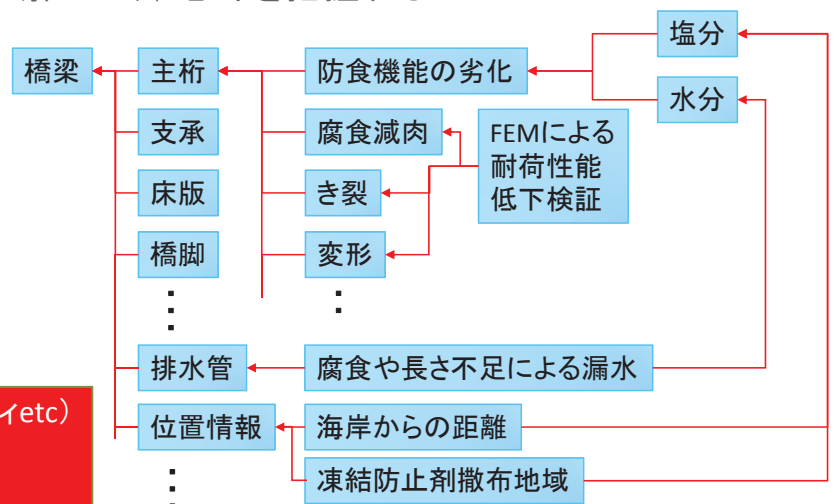
オントロジーによる知識の整理

演繹的推論, 仮説推論を機能させるためには, 概念間の関係の理解が必要.
抽出された特徴間の関係の理解により, 意味を把握する.

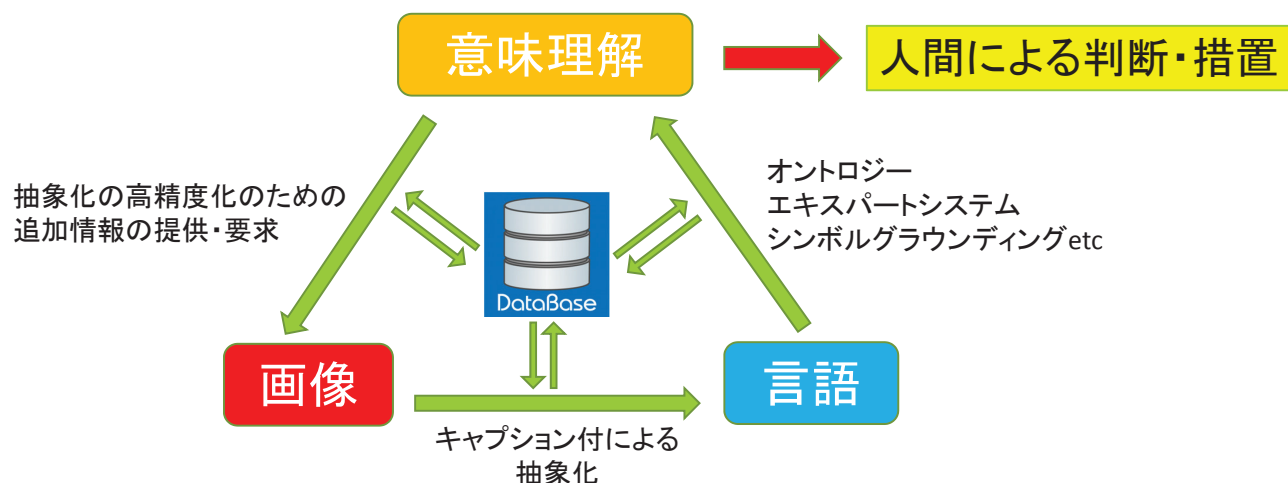
→オントロジー



言語学とのリンク(ソシュール, メルロ=ポンティetc)
「思考や認識は言葉に規定される」
「土木言語学」の必要性



画像一言語一意味の三位一体



ここまでの流れを、維持管理に当てはめる

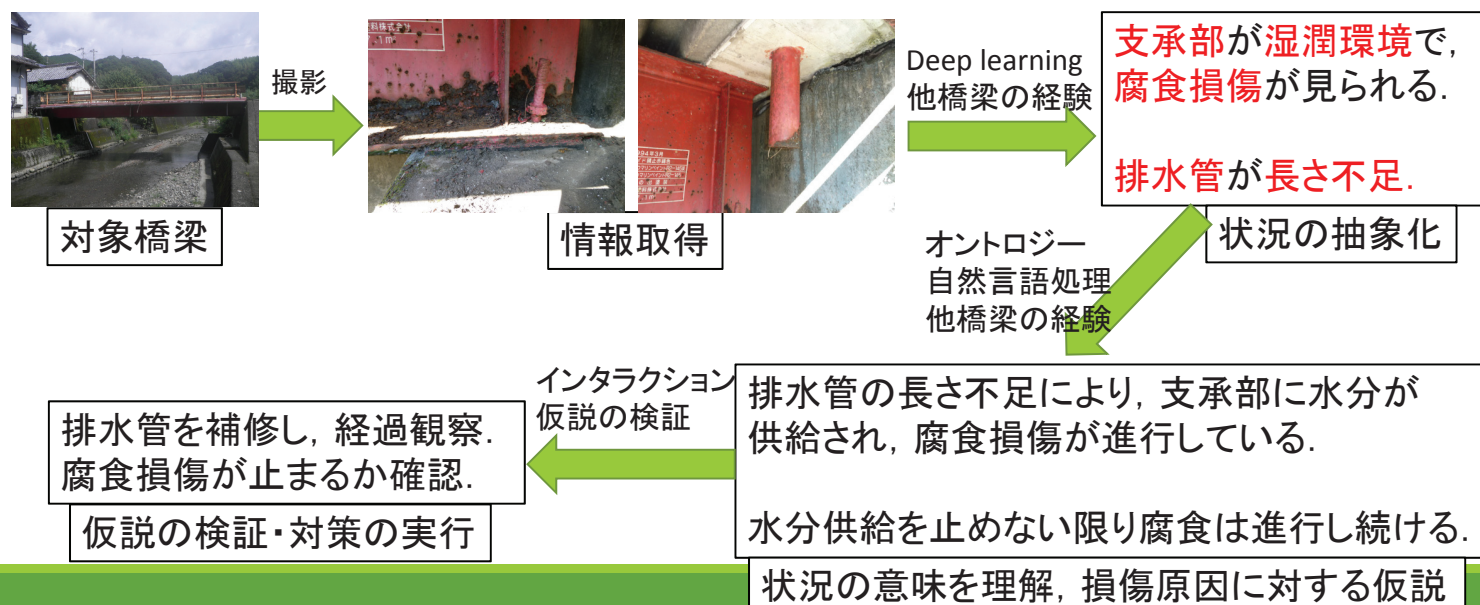
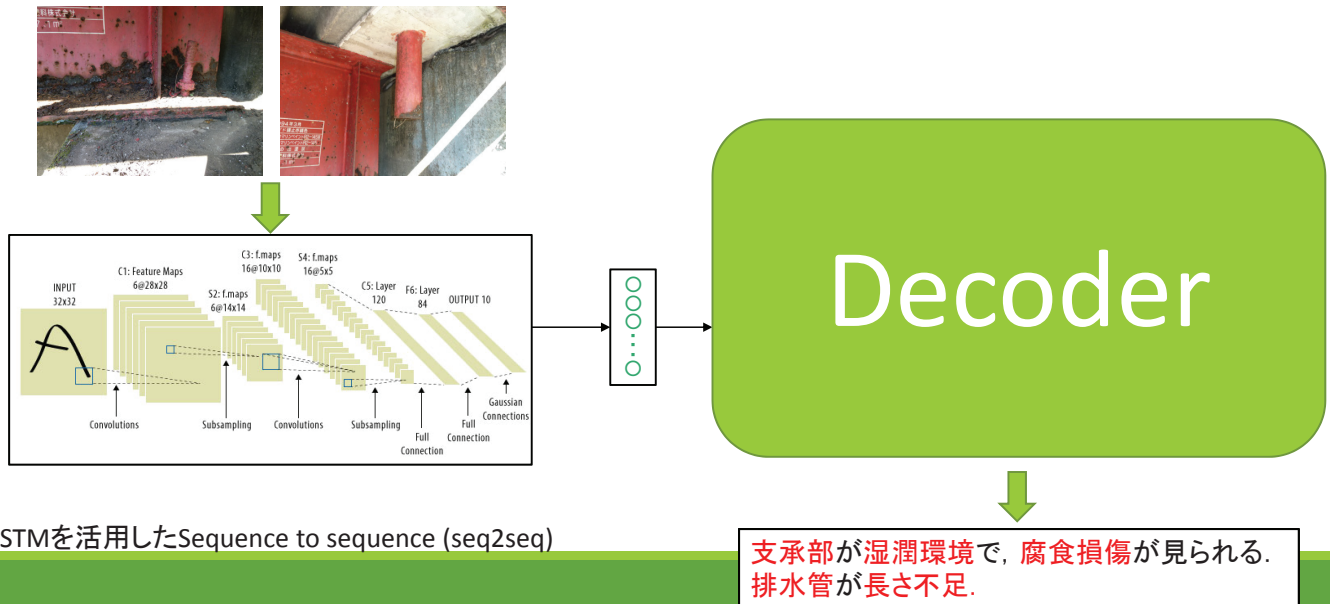


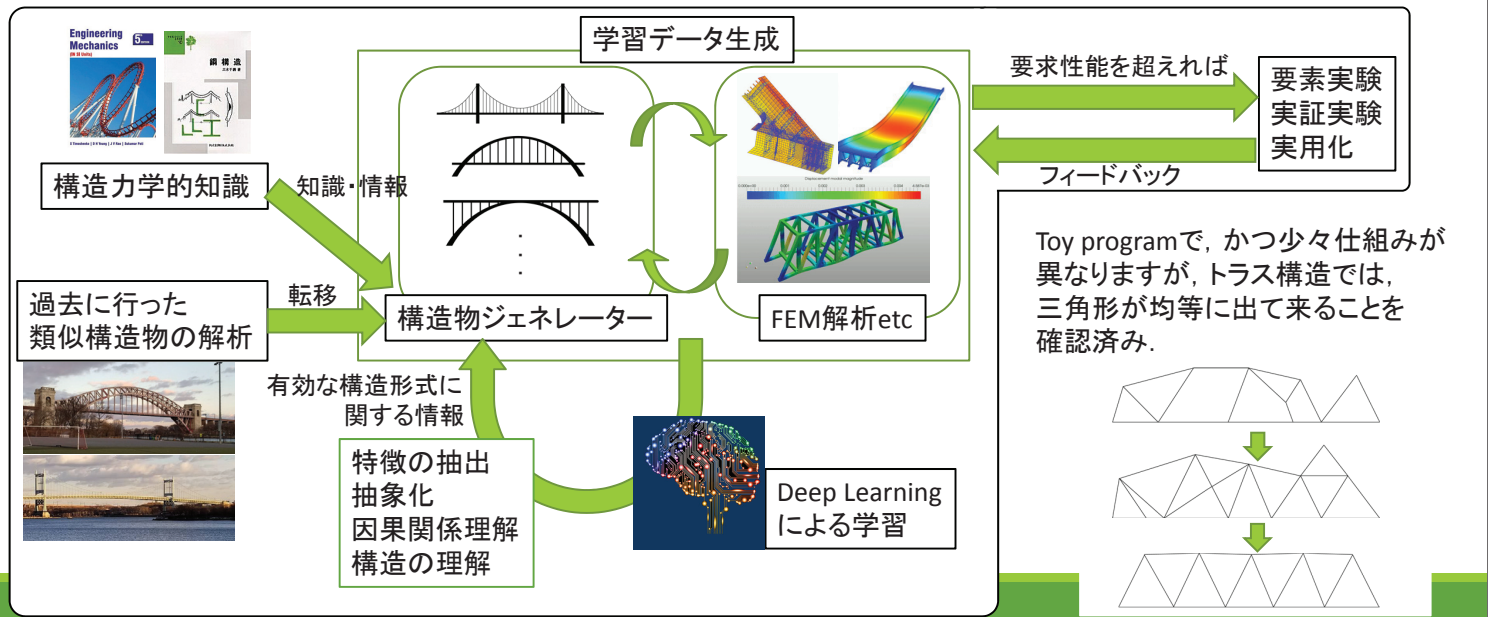
Image caption generationへの応用



構造工学への応用

- 目的の設定→観察などによる状況の抽象化→状況の意味の理解→仮説提示→検証のサイクル, スパイラルアップがこれから来る (かもしれない) 新時代のAIのポイント
- 既存構造物の維持管理において, 目的に応じた必要な計測・解析・実験を計画し, また準備し, そして結果の検証などのPDCAを自律的に行う
- 新規構造物について, 目的に応じた構造物を設計・作成する.
 - 似たような構造物が多くあるタイプの構造物であれば, 知識の転移も有効.
 - 意匠についても, 人間が好む意匠のパターンを学習すれば, そこから発展させることで人間側のニーズはある程度は満たせそう. 意匠のオリジナリティについては不明.
 - これまでにないようなオリジナルな構造物の発明・設計. 例えば, 疲労クラックが生じないような構造を作れ, という目的を設定すると, 膨大な計算の結果, 見つけることができるかも. (将棋の新戦法の例)
- 制御できるような構造物を作成するという発想も, 目的に応じて当然出てくる.

オリジナルな構造物／形式の提示



さらに遠い未来の話

目的の設定→観察などによる状況の抽象化→状況の意味の理解→
仮説提示→検証のサイクル, スパイラルアップがこれから来る
新時代のAIのポイント

- 街の中の必要な場所に必要な構造物を自動で建設, 維持管理
- ...
- そして, 街全体の知能化へ
- 人工知能が進化しても残る仕事とは.
土木技術者だから出来ることとは.

人工知能が進化しても残る仕事とは

- 過渡期には当然いろいろな仕事がある。土木においては、人工知能（＋ロボット）はほとんどの場合、コストパフォーマンスが合わない。
- 過渡期を超えても、人工知能でオリジナリティのあるものを作るには膨大な計算資源が必要。あるいは、アシストで計算コストを落とすことができる。
- 合意形成などの人間一人間のインターフェース部分
- 意思決定など、サンプル数の非常に少なく、責任が要求される場面
- どのような目的を与えるか。異なる価値観の共存する社会で大切なのは何か。対立する幸せの中で、トレードオフをどう考えるか。

これらは土木技術者には昔から求められてきたことであり、そしてその価値は損なわれず、それどころか更に重要性を増していく。

AIで描く未来—土木AI進化論— (1990, 土木学会)



二〇一〇年、木田家の金曜日

- 地震によるインフラ施設への影響予測と、それに対する最適な対策をシミュレートするシステムが紹介されています。
- 今日の建設構造物は、最適設計システムや高強度材料の開発、老朽化診断システム、環境制御システム、補修ロボット等が普及したことにより、ますます大規模かつ複雑になっているが、同時に安全性も大きく向上しています。高層ビルに至っては高さ1000mのものがまさに着工されようとしているのです。
- 新東京国際空港までの最短の経路を自動運転システムにセットします。木田の車は交通流制御システムで渋滞のなくなった首都高速道路を走り、予測時間どおりに空港に到着できました。
- 重機械はすべて臨場感認識による誘導システムで制御されています。（中略）。半無人化された最新の土木工事現場です。
- 予知システムは、（中略）、トンネル近傍で海底地滑りが発生することを高い確率で予測しています。
- 会議では言語処理システムが使用され、話された言葉は整理された上で英語、日本語両方でスクリーンに表示されるとともに、同時翻訳システムにより音声で聞けるようになっています。
- サンゴ礁の群生や魚介類の生態系への影響、さらには自然景観について50年後の予測、評価も含めた「自然環境評価・予測シミュレーションシステム」による検討結果が報告されました。

北海道大学 湧田先生より

ご清聴ありがとうございました.

スライドや委員会についての質問やご意見は,
chun@cee.ehime-u.ac.jpにお送りください.

講 演

謎解き 橋の維持・補修

損傷の原因をどのように推測し、対策に結び付けていくのか？

(株)松村技術士事務所
松村英樹

1

お話する内容について

- 1.道路橋定期点検の健全度判定や対策の区分について
- 2.健全度、対策区分の判定や対策を選定するには何を
するか？
- 3.道路橋に発生する損傷の種類について
- 4.いくつかの事例を紹介し、損傷原因をどのように推測し、
その後の対応をどのように考えたかを解説

2

道路橋点検要領での健全度判定の区分

(道路橋定期点検要領 平成26年6月 国土交通省道路局)

- I : 健全 ⇒ 構造物の機能に支障が生じていない状態
- II : 予防保全段階⇒ 構造物の機能に支障が生じていないが**予防保全の観点**から措置を講ずることが望ましい状態
- III : 早期措置段階⇒ 構造物の機能に**支障が生じる可能性があり、早期に措置**を講ずべき状態
- IV : 緊急措置段階⇒ 構造物の機能に**支障が生じている**。又は生じる可能性が著しく高く、**緊急に措置**を講ずべき状態

点検結果から**部材単位**で I ～IV の健全度判定を行い、その結果を踏まえて**橋梁ごとに I ～IV の健全度判定**を行う。一般的には橋梁ごとの健全度は構造物の性能に影響を及ぼす**主要部材に着目して、最も厳しい判定区分**とする。

3

点検結果からの対策区分の判定(適用の範囲:直轄国道)

(橋梁定期点検要領 平成26年6月 国土交通省道路局国道・防災課)

- A : 損傷が認められないか、**損傷が軽微**で補修を行う必要がない。
- B : **状況に応じて補修**を行う必要がある。
- C1: **予防保全の観点**から、**速やかに補修等**を行う必要がある。
- C2: 橋梁構造の安全性の観点から、**速やかに補修等**を行う必要がある。
- E1: 橋梁構造の安全性の観点から、**緊急対応**の必要がある。
- E1: その他、**緊急対応**の必要がある。
- M: **維持工事**で対応する必要がある。
- S1: **詳細調査**の必要がある。
- S2: **追跡調査**の必要がある。

点検結果から部材毎、損傷の種類毎に判定を行う。

健全度の診断と対策区分の判定は、一般的には次のような対応になる。

- I : 健全 ⇒ A,B
- II : 予防保全段階⇒ C1,M
- III : 早期措置段階⇒ C2
- IV : 緊急措置段階⇒ E1,E2

4

健全度、対策区分の判定や対策を選定するには何をするか？

- 橋梁台帳を収集し、対象橋梁の諸元等を確認すること。
⇒完成年、路線名、橋長、幅員、橋梁形式、補修・補強履歴等は基本データ。
- 架橋位置の環境、地形、地質状況や交通量等を把握する。
⇒損傷原因の究明に重要なデータとなる。
- どんな損傷であっても発生原因は明確にすること。
⇒原因が除去できない対策を選択することになり、損傷の進行はくい止められない。
- 損傷が軽微でも将来重大な損傷に進展する可能性があることを認識しておくこと。
⇒過去の事例と類似していないか確認しておく必要がある。塩害環境下の事例などがあげられる。
- 損傷は複数の原因で発生する場合もあることを認識しておくこと。
⇒複数の原因を除去できる対策を選択しないと進行はくい止められない。
- 損傷には直接的な原因だけでなく、間接的な原因もあることを認識しておくこと。
⇒直接的な原因だけを除去しても損傷の進行はくい止められない。

5

- 損傷している部材だけに着目するのではなく、橋のどこの部材であるか確認しておくこと。
⇒損傷部材が上部工、下部工、基礎工のどこにあり、どのような役割をしているのか、またどのような地形・地質および環境に置かれているのか確認しておくことは、発生原因の推定や対策の選定に重要である。
- 過去の点検結果と比較し、進行推移を確認すること。
⇒損傷の進行予測や損傷原因が推測できる。
- 過去に実施された詳細調査や追跡調査があれば実施時期、調査内容・結果を確認すること。
⇒損傷原因や進行予測(劣化予測)が推測できる。
- 設計図書・施工記録を収集すること。
⇒特に設計図や施工時の写真等は損傷原因の究明や対策の選定に重要なデータとなる。
- 既往の損傷事例を収集すること
⇒類似した損傷の原因や講じられた対策、その後の損傷の推移等は損傷原因の究明や対策の選定に重要なデータとなる。

6

道路橋に発生する損傷の原因を整理してみると！

先天的なもの:計画・設計時や施工時の不具合で将来損傷に発展するもの(例)

- ①地形状況、地質状況⇒**地すべり地形**に計画した橋台位置、**洗掘**を受けやすい河川内の橋脚位置や形状、**側方流動**の可能性のある軟弱地盤の橋台基礎の杭本数や地盤改良等の配慮不足、**液状化**対策がされていない基礎工など。
- ②構造形式、構造ディテール⇒経済設計による**軽量化**、積雪地帯での**下路橋**の採用、沿岸地域での**コンクリート桁**に**開断面**の採用、鋼橋の**疲労亀裂が発生し易いディテール**の採用等
- ③道路線形や橋面の排水計画・設計⇒降雨時に雨水が**排水しづらい道路線形**、排水桁の位置や**排水管の長さ**(主桁に水がかかるとの配慮不足)など
- ④使用材料⇒**海砂**の使用、**反応性骨材**の使用、沿岸地域や融雪剤散布地域での**耐候性鋼材**の採用など
- ⑤基礎工施工時⇒**支持層の確認不足**、支持層への**根入れ不足**など
- ⑥下部工施工時⇒**過密配筋**でのコンクリートの**締固め不足**、夏季施工時の**打ち継ぎ目の不十分な処理**、冬期施工時の**不十分な養生管理**など
- ⑦上部工施工時⇒**かぶり不足**、PC桁の**上縁定着部の防水不良**や**グラウト不足**、鋼部材の**溶接欠陥**、RC床板の防水工施工時の**床板上面の水分管理不足**など

7

道路橋に発生している損傷の原因の整理してみると！

後天的なもの:供用後に損傷が発生・進展する可能性があるもの(例)

- ① **飛来塩分**の部材での付着・浸透 ⇒ 上部工のコンクリート部材の内部鋼材腐食や鋼部材(特に耐候性鋼材)の腐食・減肉など
- ② **融雪剤**の部材への付着・浸入 ⇒ コンクリート部材の内部鋼材腐食、RC床版の上面鉄筋の腐食や鋼部材(特に耐候性鋼材)の腐食・減肉など
- ③ コンクリートの**凍結融解**の繰り返し ⇒ コンクリート部材の脆弱化、RC床版上面の土砂化など
- ④ コンクリートの**中性化**によるアルカリ度の低下 ⇒ コンクリート部材の鋼材腐食、コンクリート片のはく離・はく落による第三者被害など
- ⑤ **過積載車や大型車両**の繰り返し ⇒ RC床版の疲労耐久性の低下や鋼床版の疲労亀裂など
- ⑥ 土砂や漏水による**支承機能の低下** ⇒ 鋼桁端部の変形、疲労亀裂、コンクリート桁端部のひび割れ、沓座モルタルの破損など
- ⑦ **支承の沈下や移動・回転機能の低下** ⇒ 伸縮装置の段差など
- ⑧ 伸縮装置の**伸縮機能の低下** ⇒ 支承の移動・回転機能の低下、橋台背面土砂の移動(側方移動)など
- ⑨ 鋼部材の**塗装劣化** ⇒ 鋼部材の腐食・減肉、減肉による疲労亀裂など
- ⑩ 橋面舗装の**ひび割れやポットホール** ⇒ RC床版上面の土砂化、鋼床版のデッキプレートの亀裂など
- ⑪ コンクリート部材の**表面被覆材の劣化** ⇒ 劣化因子の再侵入など
- ⑫ **河床低下** ⇒ 基礎工の安定度低下など

8

損傷原因をどのように推測し、その後の対応をどのように考えたか？

⇒いくつかの事例紹介

9

事例－1 橋面舗装の損傷が床版の損傷に関連している場合もある。

大型車交通量の多い、完成してから15年程度経過した2つの高架橋の舗装面にひび割れやポットホールが発生している。上部工形式は双方とも鋼鈑桁でRC床版である。この原因は？



A橋: 橋面舗装のひび割れ
ひび割れから水分がしみだした跡が確認できる。舗装の補修跡も確認できる。



B橋: 橋面舗装のポットホール
ポットホールの周りに舗装を打ち換えた跡が見受けられる。また、ポットホールから水分がしみだした跡が確認できる。

10

原因の推測

- ・ひび割れやポットホールの周りから水分が滲みだしていることから、**RC床版上面に水分が滞水**していると考えられる。
- ・橋面舗装にこのような損傷が発生するのは、**RC床版が土砂化**しそこに水が滞水しているからと考えられる。
- ・**舗装の補修**が行われているのは該当箇所が**土砂化**しているからと考えられる。
- ・この直下のRC床版下面の状況は以下のようにあり、ひび割れは見られるが幅は小さいが、**全体的に遊離石灰**が滲みだしている。
- ・既往の事例ではこのようなRC床版下面状況は**床版上面が土砂化**している場合に見られる。



A橋のRC床版下面状況



B橋のRC床版下面状況

11

今後の対応策

- ・橋面舗装にひび割れやポットホールがある箇所の**床版上面が土砂化しているか否か**を調べる。
- ・このような土砂化の原因には、**融雪剤**の散布による**上面鉄筋の腐食**や**凍害**や**アルカリ骨材反応(ASR)**によるかぶりコンクリートの**脆弱化**が考えられるので、床版の塩化物イオン量の測定や採取コアの観察等により原因を調べる。
- ・塩化物イオンが**鋼材腐食限界濃度**を超えている場合やASRが原因と考えられる場合は、土砂化が橋梁全体に進行する可能性が高く、**床版更新**の検討を進める必要がある。
- ・当面は土砂化している**脆弱部を撤去し断面修復して防水工**を設置する。
- ・凍害の場合は凍害深さが浅い場合や限定された範囲であれば、部分的に脆弱部を撤去し断面を修復で良い場合もある。

RC床版上面が
土砂化している事例



12

既設RC床版の鉄筋が腐食によりひび割れ発生している状況
(床版更新工事時にRC床版を切断した時の切断面)



13

参考

輪荷重によりRC床版の疲労耐久性が低下していく過程でのひび割れの状況



コンクリートの乾燥収縮により橋軸直角方向のひび割れが入る。
つぎに大型車の繰り返しにより橋軸方向にもひび割れが入る。
さらにひび割れはブロック化して鉄筋の錆びや土砂が滲み出し、押し抜きせん断耐力が低下して抜け落ちる。

14

RC床版が抜け落ちた状況



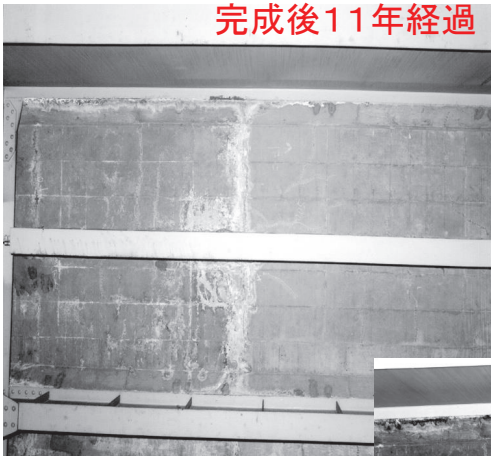
コンクリートは抜け落ちても
鉄筋は切断されていない。

鋼板の補強効果は発揮されていない。



15

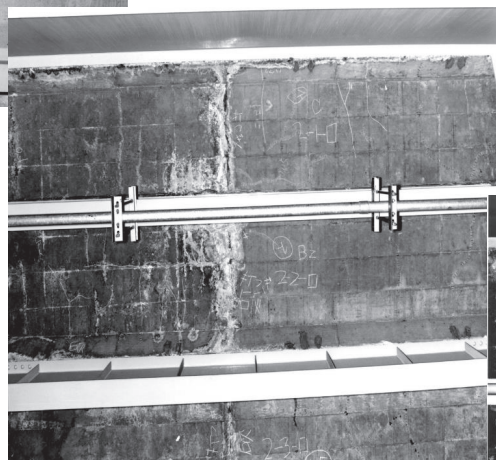
完成後11年経過



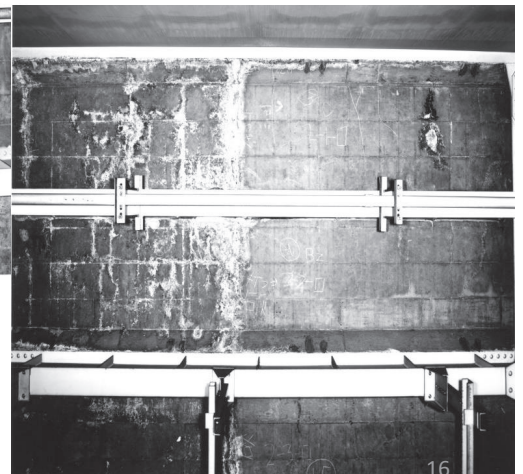
参考

RC床版の下面の損傷の変化を経時的に見ていく
ことは対策時期を判断する極めて有効なデータ
である。

完成後16年経過



完成後31年経過



1968(昭和42年)完成した鋼鈑桁のRC床版
(適用示方書:昭和39年鋼道路橋設計示方書)

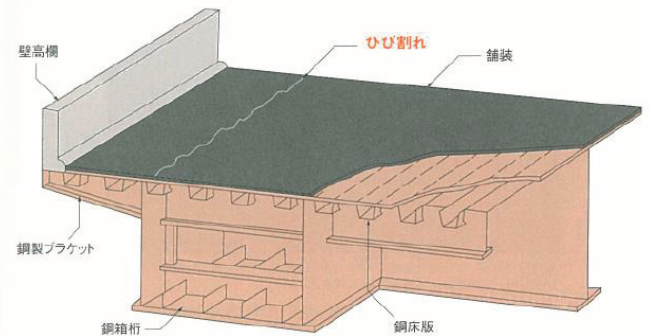
16

事例－２ 橋面舗装の損傷が橋梁本体の欠陥によるものもある。

大型車交通量の多い、完成してから10年程度経過した高架橋の舗装面に橋軸方向にひび割れが発生している。上部工形式は鋼床版箱桁である。この原因は？



● 鋼箱桁橋の舗装に生じたひび割れ



鋼床版上面の橋面舗装のひび割れ、路面上に水がしみだしているのが確認できる。ひび割れ位置はブラケットの付け根付近である。

17

原因の推測

- ・着目するのは舗装ひび割れの発生位置で、箱桁のブラケットの付け根付近である。
- ・この位置でひび割れが発生するのは、通行車両によりブラケット鉛直方向にたわむ時であり、このとき橋面舗装には橋軸直角方向の引張力が作用してひび割れが発生すると考えられる。
- ・ブラケットが舗装にひび割れが発生するほどたわむのはブラケットの剛性が低いからと考えられる。

今後の対応策

- ・張り出し床版を支えているブラケットの剛性を上げるため、ブラケット本体の剛性上げるか、ブラケットの数を増やす必要がある。(このケースでは、ブラケットの数を増やすことにした。)
- ・ブラケットの付け根部に疲労による損傷の有無を確認し、あった場合は対策を講じる必要がある。
- ・舗装ひび割れに対してはブラケットを剛性向上や増設工事が完了した後に、ひび割れに薬液を注入し、雨水の浸入を防止する必要がある。
- ・ブラケットの増設効果を確認するため、舗装ひび割れの経過観察を行う必要である。

18

事例－3 橋梁外の損傷でも橋梁本体に原因にあることもある。

完成してから30年程度経過した道路橋の橋台背面の舗装面に発生した橋軸直角方向のひび割れがある。また、伸縮装置(可動)に遊間異常がある。この原因は？



19

原因の推測

- ・橋軸直角方向に複数のひび割れが発生している。
- ・橋台背面の裏込め土砂の沈下が原因のひとつとして考えられる。施工時の裏込め土砂の締固め不足によるものである。この場合は伸縮装置の遊間異常は生じない。
- ・もう一つの原因として側方流動が考えられる。背面土砂の沈下により土砂の下の軟弱層が流動する現象で、橋台全体が傾斜、移動する。これにより、伸縮装置の遊間異常が生じ、背面土砂の沈下により舗装にはひび割れが発生する。
- ・点検結果から伸縮装置の遊間異常とともに、桁とパラペットにも遊間異常があることが分かった。
- ・以上から側方流動により橋台全体が傾斜、移動したことが原因と考えた。

今後の対応策

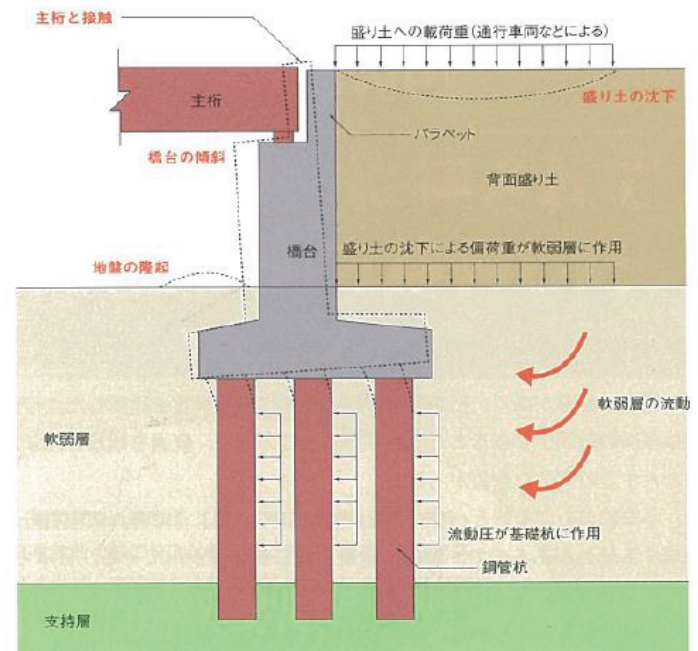
- ・側方流動により橋台全体が傾斜、移動が進展しているか否かを確認する。
- ・桁とパラペットとの遊間の温度変化の動きや支承の移動・回転機能の確認をする。
- ・側方流動による損傷の進展していないことが確認できた段階で、パラペットの打ち換え、支承や伸縮装置の交換をする。
- ・進展している段階で対策はこのような対策を講じたとしても、再損傷する。ただし、安全上懸念される箇所は対策を講じる。例えば、伸縮ができない状況の鋼桁であれば座屈等の損傷の有無を確認し、座屈の可能性がある場合は横桁の増設等の対策をする。
- ・路面に段差ができていると通行車両の安全上問題であり、緊急に舗装の部分補修が必要である。

20

側方流動により傾斜した橋台の例



● 橋台の側方移動のメカニズム



橋台の側方移動では、図のように橋台が前面に傾斜する場合や背面に傾斜するケース、橋台全体が前面に平行移動するケースがある。このような移動や傾斜は、橋台背面の盛り土高さ、橋台の高さ、軟弱層の厚さなどが複雑に関係し合って発生すると考えられる。現象としては、橋台のバックフィルと主桁の接触や伸縮装置の遊間異常以外に、橋台前面の地盤の隆起、背面盛り土の沈下などがみられることがある

21

事例－4 微細な損傷が重大な損傷に発展するものもある。

沿岸地域にある1980年代に完成してから10年程度経過したポストテンションT桁橋である。主桁や床版に点錆が見られている。この原因は？



22

原因の推測

- ・沿岸地域にあることから飛来塩分による塩害を受けやすい環境にある。
- ・点錆が見られる箇所には規則性はないと考えられる。
- ・点錆の状況から表面に近い位置にある金属スペーサーや鉄筋の結束線が飛来塩分により腐食して錆びが滲みだしているのではないかと推測される。
- ・主桁の金属スペーサーは平成14年(2002年)道路橋示方書から原則使用禁止となっているが、本橋が架設されていた時期には使われていた。
- ・前回の点検時の状況と比較し、点錆の箇所や錆汁の範囲が増えていれば、進行している判断できる。

今後の対応策

- ・表面から鋼材位置までの塩化物イオン量を調べる。
- ・鋼材位置での腐食発生限界濃度以上の塩化物イオン濃度あり、損傷がすでに発生している段階では電気化学的補修工法の対策を講じたとしても鋼材腐食の進行をくい止めることは難しく、架け替えの検討を開始する時期にきていると考える。
- ・この場合は第三者被害防止の対策を行い、補修工事は最小限に止める。
- ・通行車両の安全を確保できる最低限の補強対策を実施する。
- ・架け替えまでの期間は危機管理体制をとり、モニタリングを行い安全を確認する体制をとる。
- ・鋼材位置での腐食発生限界濃度以下の場合は電気化学的補修工法を実施。

23

参考 塩害により架け替えとなった国道7号旧暮坪陸橋の損傷の進行状況を見してみる

- ・1965年：供用開始
- ・1975年(竣工後10年)：主桁に小さな錆汁が発生
 - ・潜伏期、進展期、加速期前期までが10年
- ・1977年(竣工後12年)：錆汁、ひび割れ、はく離が発生
 - ・加速期後期まで12年
- ・1979年(竣工後14年)：錆汁、ひび割れ、はく離が拡大してはく落も発生
 - ・劣化期まで14年

2013年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】
塩害を受けるプレストレストコンクリート構造物における外観上のグレードと劣化の状態

劣化過程	劣化の状態
グレードⅠ 潜伏期	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
グレードⅡ 進展期	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度上、腐食が開始
グレードⅢ-1 加速期前期	PC鋼材以外の腐食に起因したひび割れや浮きが発生、さび汁が見られる
グレードⅢ-2 加速期後期	PC鋼材に沿う部分的な腐食ひび割れや浮きが発生、さび汁が見られる
グレードⅣ 劣化期	腐食ひび割れの進展に伴う剥離・剥落が見られる、PC鋼材の断面減少が見られる、曲げひび割れが発生、変位・たわみが大きい

24

・1981年(昭和56年)～1984年(昭和59年): 完成後16年～19年経過
一次補修工事の実施

- ・脆弱部の除去、断面修復(エポキシ系プレパックドコンクリート)、表面被覆(ポリブタジエン樹脂)
- ・工事中に一部のPC鋼線が破断しているのが確認された。

・1989年(平成元年): 完成後24年経過
詳細な調査を実施。

- ・PC鋼線の破断が顕著で第3スパンでは6主桁×9本=54本のPC鋼材のうち、26本のPC鋼材が破断しているのを確認。))
- ・表面から5cm(鋼材位置)の塩化物イオン含有量が7～11 kg/m³と確認

・1991年(平成3年): 完成後26年経過
交通規制の実施

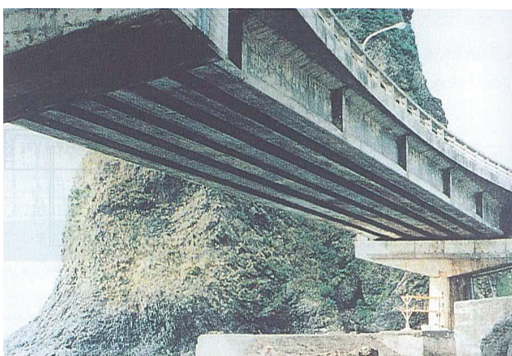
- ・PC鋼線の破断が顕著で、安全が懸念されたため、車両の総重量20tの交通規制(特殊車両の通行を認めない)を実施。

25

旧暮坪陸橋の損傷状況(1980年: 完成後15年経過)



錆汁、ひび割れ、はく離が拡大して
はく落も発生している



26

旧暮坪陸橋の補修・補強履歴

- ・1991年(平成3年)～1993年(平成5年): 完成後26年～28年経過

第二次補修工事の実施

- ・表面被覆の除去、脆弱部の除去、断面修復(ポリマーセメント系プレパックドコンクリート)、表面被覆(ポリブタジエン樹脂)
- ・第3スパンを外ケーブル補強、中間支柱設置
- ・1992年(平成4年): 完成後27年経過
- ・第3スパンに対する載荷試験で補強効果を確認し、20トンの交通規制を解除。
- ・架け替えの事業化が具体的にスタート

- 1992年(平成4年)～1998年(平成10年): 完成後27年～33年経過

- ・第3スパンは耐荷力の低下が懸念されたため、主桁のたわみ、補強外ケーブルの軸力、中間支柱の反力の変化を継続的にモニタリング。

- 1998年(平成10年): 完成後33年経過

新橋完成、供用開始。

旧暮坪陸橋は33年間の供用を終える。

- 1999年(平成11年): 撤去

27

旧暮坪陸橋の損傷状況(1991年:竣工後26年経過)



主桁のPC鋼材の破断している状況

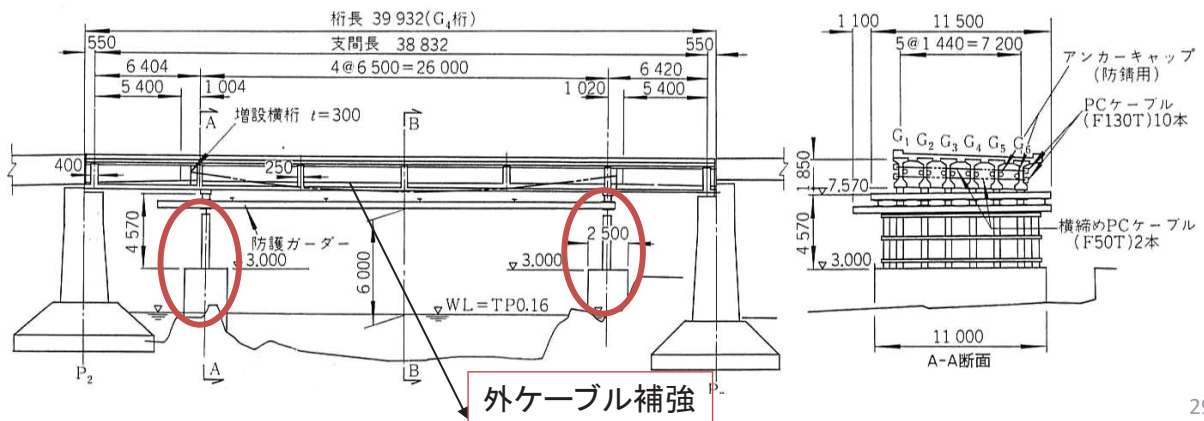


28



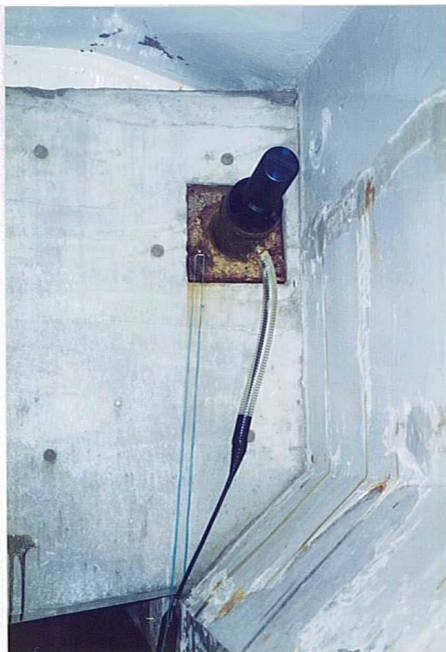
旧暮坪陸橋の 補修・補強状況

中間支柱



29

旧暮坪陸橋のモニタリング状況



外ケーブルのロードセルによる軸力測定



支間中央のたわみ測定



中間支柱上の支承の変位測定

30

架け替えられた暮坪橋（橋長;35.0m 幅員;13.5m）



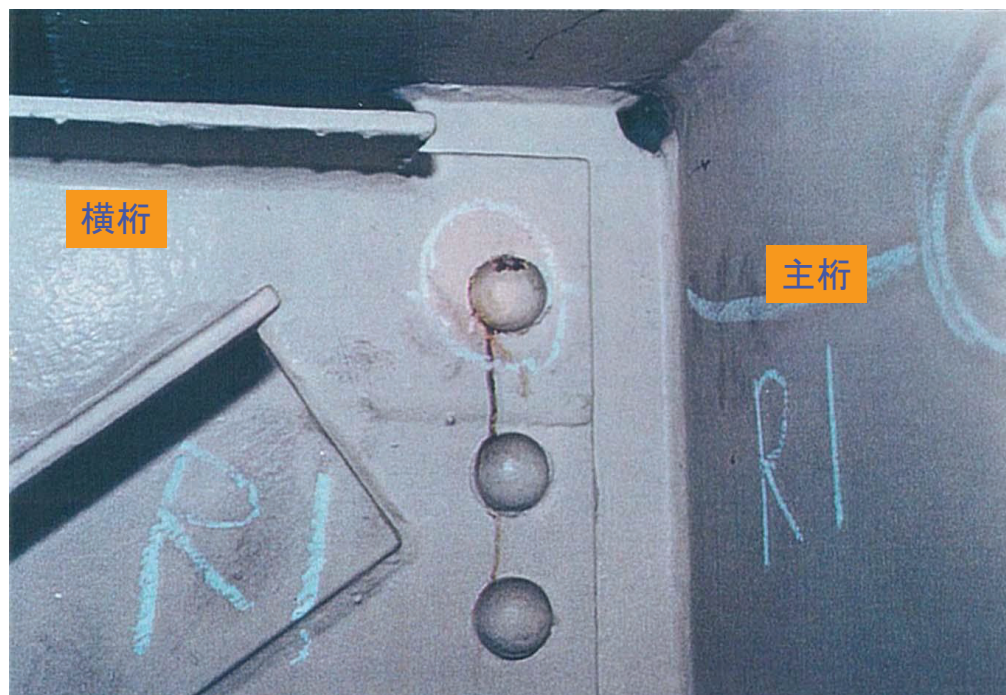
塩害対策

- ・上部工形式：単純PC箱桁
- ・ひび割れ制御：フルプレストレス
- ・かぶり：上部工5cm以上、下部工7cm以上
- ・鉄筋：エポキシ樹脂塗装鉄筋（結束線も）
- ・PC鋼材：表面被覆鋼線
- ・シーす：硬質ポリエチレンシーす
- ・水セメント比：上部工45%以下、下部工55%以下
- ・支承：ゴム支承および防食アンカー、
ポリウレタン樹脂による被覆



事例－5 鋼部材に発生している錆汁が意味することは？

1960年代に架設された鋼鈹桁の主桁と横桁との接合部のリベットから錆が流れ出ている。この原因は？

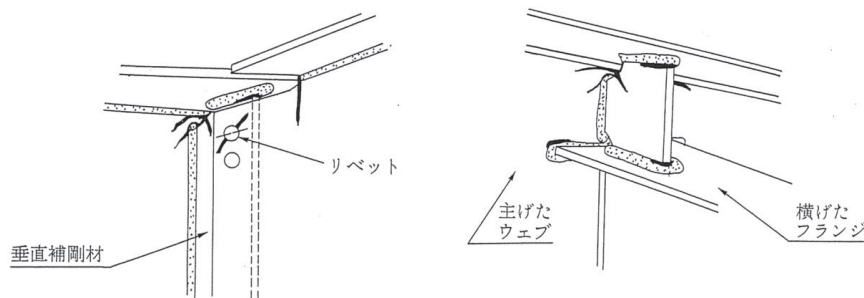


原因の推測

- ・この部分は主桁に溶接された垂直補剛材に横桁がリベットで接合されている箇所である。
- ・リベットから錆汁が流れ出ているのは、車両走行時にリベットが動き、**塗膜をはがれて錆が発生**、それが結露などにより流れていると判断できる。リベットは高力ボルトに比較して動きやすいと考えられる。

今後の対応策

- ・主桁と横桁との接合部には**疲労により溶接部に亀裂が発生し易い箇所**であり、その兆候がリベットからの錆汁の流出である。
- ・直上の**垂直補鋼材と上フランジとの溶接部塗膜割れ**の有無、塗膜割れがあれば、塗膜をはがし**磁粉探傷試験**等で亀裂の有無を調べる。表面になくても内部にある場合もあり、**超音波試験**等で調べておく。また、橋梁全体に対してもリベットの錆の状況を調べ、必要に応じて同様の調査を行う。
- ・すぐに耐力低下につながることはないが、いずれは**横方向剛性低下**につながることから補修対策を実施する。



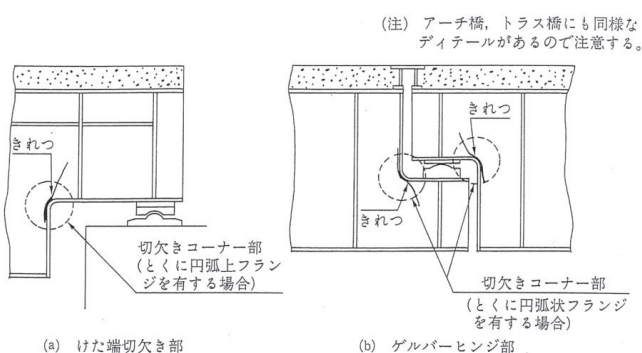
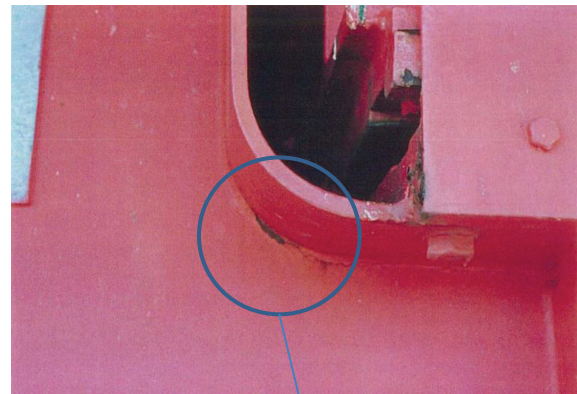
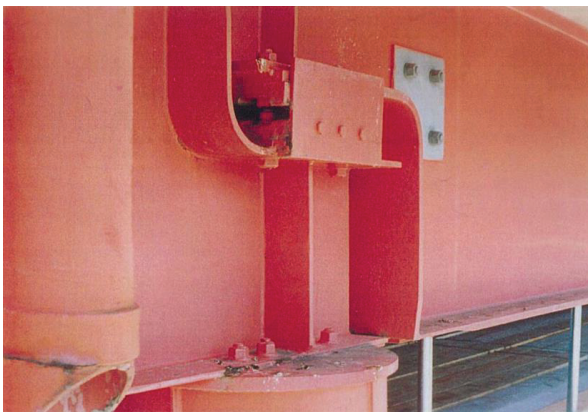
鋼橋の疲労 日本道路協会 平成9年5月

33

参考

鋼橋の疲労亀裂を見つけるには錆の発生がポイント

ゲルバーヒンジ部に発生した錆



鋼橋の疲労 日本道路協会平成9年5月

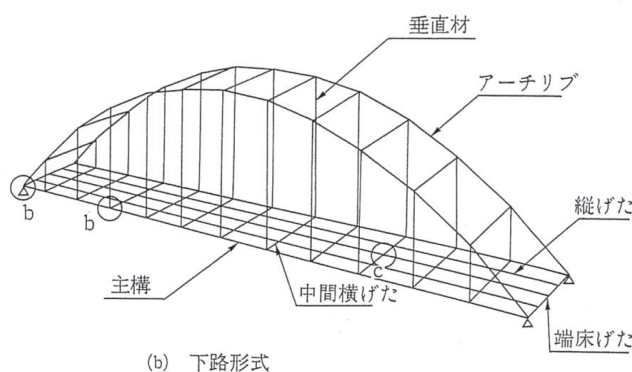
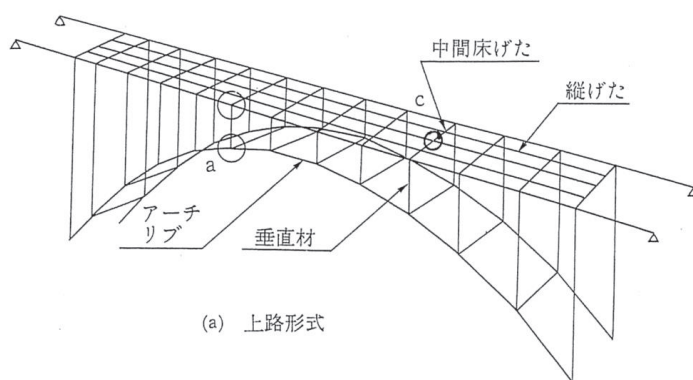
34

鋼上路アーチ橋の垂直材の上下端部に発生した錆

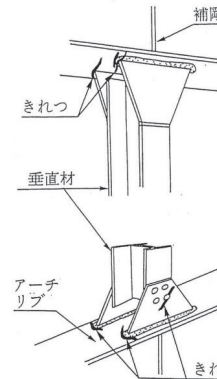


35

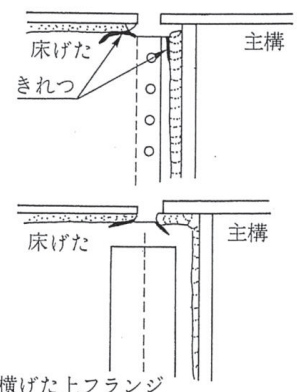
鋼アーチやトラスの亀裂の発生し易い箇所



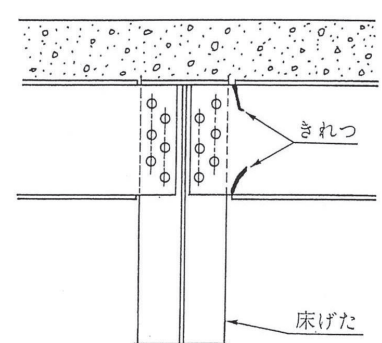
a' 垂直材上下端部



b 主構と横げたとの接合部



c 縦げたと横げたとの接合部



36

事例－6 外観上は問題ない鋼製支承に隠れている問題は？

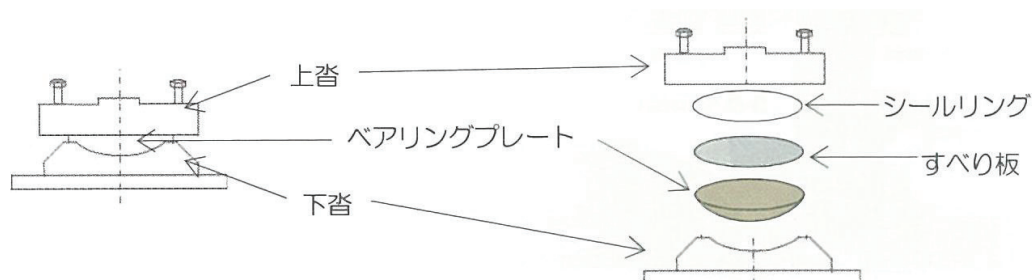
1970年代に架設された鋼鈹桁の鋼製支承(可動)のソールプレート付近の下フランジおよびウェブに錆が見られ亀裂が発生している。この原因は？



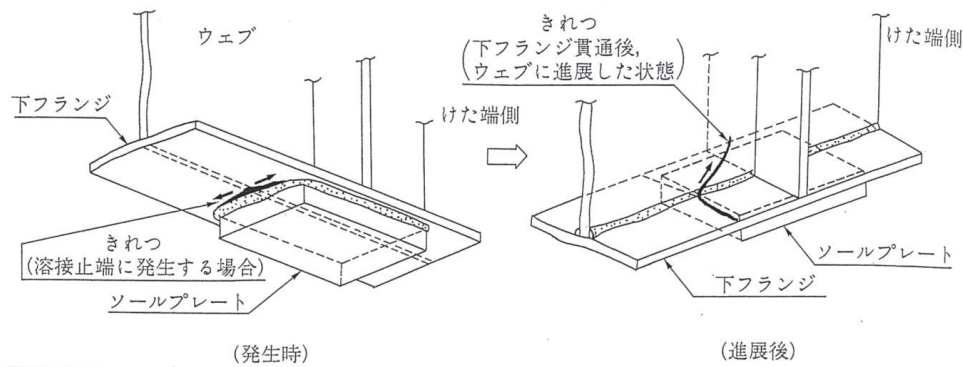
37

原因の推測

- ・支承の回転・移動機能が低下すると、回転・移動が拘束されたことにより、ソールプレート前面に拘束モーメントが働き、亀裂が発生したと考えられる。亀裂は下フランジからウェブまで進展し、亀裂面と塗装がはがれて錆が発生している。
- ・外観上は支承本体に機能を低下させるような損傷は認められていないため、使われている支承の内部に欠陥があると判断できる。
- ・使われていた支承はBP-A支承で、ベアリングプレート(高力黄銅支承板)が回転・移動をするものであるが、20年程度で機能が低下するといわれている。



38



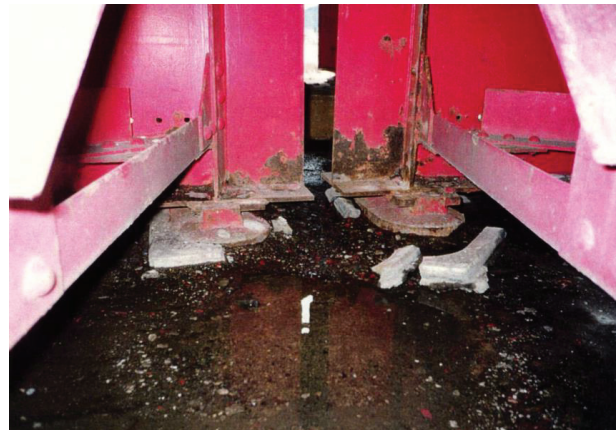
鋼橋の疲労 日本道路協会 平成9年5月

今後の対応策

- ・亀裂は下フランジからウェブにまで進展していることから、**主桁が支承から外れて橋座面に落下することが最悪予想できる**。桁端部であることから、伸縮装置に段差ができ、通行車両の安全を脅かすため、緊急に**主桁と橋座との間に材木等を入れ、支承から外れても段差ができないような措置**を講じる。
- ・支承は**ゴム支承に交換**する。その際は該当支承だけではなく、一連の桁すべて交換する必要がある。以前の支承との混在は回転・移動機能を阻害する可能性がある。

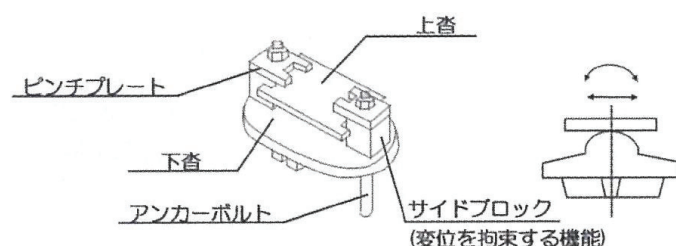
39

参考 支承の機能低下により発生した損傷



融雪剤を含んだ雨水が伸縮装置からの漏水し、線支承の回転・移動機能を低下させ、**減肉した下フランジに亀裂が発生している**。

伸縮装置からの土砂や漏水により線支承の回転・移動機能が低下し、**沓座モルタルが破損している**。

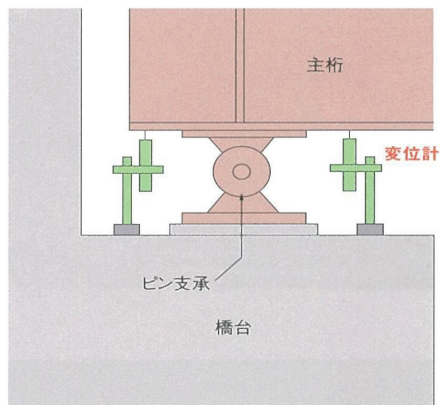


線支承

40

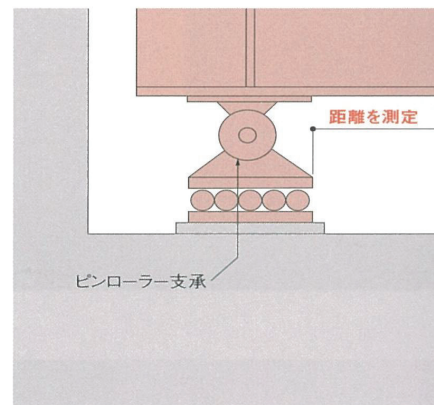
参考 支承の移動・回転機能を確認する方法

〔ピン支承の回転機能〕



支承前後の鉛直方向の変位を車両通過時に計測

〔ピンローラー支承の移動機能〕



夏と冬に支承と橋座端部の距離を計測する



線支承；回転・移動機能が低下していると推測される。



ピン支承；回転機能の低下が推測される。

41

事例－7 適用した設計基準に従って造られたものであっても、当時は気付かなかった不具合により損傷が発生することもある。

寒冷地にある1970年代に架設されたPCのポストテンション桁のウェブに遊離石灰(エフロレッセンス)が流出している。この原因は？



42

原因の推測

- ・ウェブに遊離石灰(エフロレッセンス)が流出していることは**コンクリート内部に水分**があると判断できる。
- ・遊離石灰(エフロレッセンス)が流出している形態をみると、内部の**PC鋼材の位置に一致**しているように思われる。設計図と対比すればハッキリすると考える。
- ・架設年を考えると、PC鋼材を上縁に定着されていたと判断できる。設計図で確認できると考えられる。
- ・水かどこから来ているのかを考えると、**水の浸入箇所は上縁の定着部分**ではないかと推測できる。この部分の止水機能が低下していても、PC鋼材のシース内にグラウトが充填されているので、このような漏水は考えられない。
- ・ただし、**グラウトの充填不足**があれば、未充填箇所に橋面から雨水が浸入するが、**シース内に滞水**するだけである。
- ・しかしながら、滞水している水が**凍結すると膨張し、シースを破損**させコンクリートにひび割れが入り、遊離石灰(エフロレッセンス)が流出すると推測できる。寒冷地にある本橋はその可能性がある。

43

今後の対応策

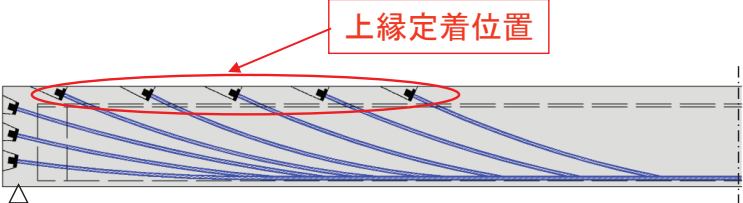
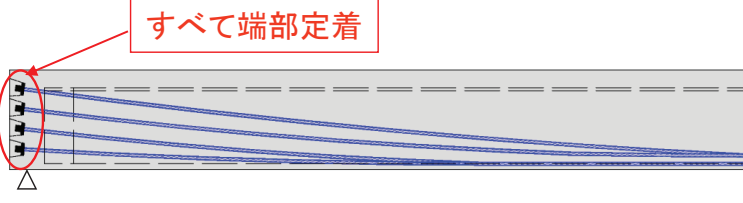
- ・遊離石灰の滲出が続いているようには見えないが、前回の点検からの滲出状況の変化を確認する。変化がない場合は経過観察していく。変化がないので対策の実施する必要はない。
- ・**続いている場合は橋面上の防水対策**を実施する。
- ・さらに**グラウトの再充填**を行う。具体的には削孔して内部の水を抜いて再充填する。ただし、未充填箇所が残るとその位置のPC鋼材はアルカリ性の水に浸されているため、なくなるとPC鋼材が腐食する場合もある。未充填箇所がないように十分な配慮が必要である。
- ・このように補修対策には良い面もあるが、悪い面もあることを認識しておく必要がある。

下フランジからも遊離石灰が滲出している



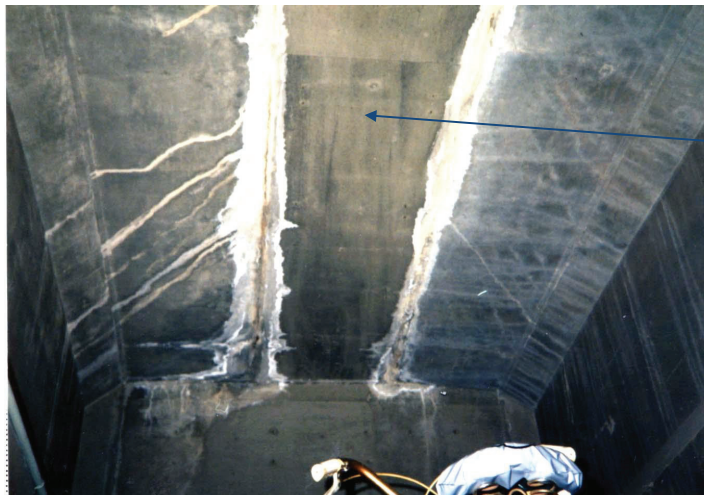
44

参考 ポステン桁の年代別のPCケーブル定着方法の推移

PCケーブル定着方法	
・1979年以前 ・1980年～1993年 (桁長27m以下) に設計のポステン桁	 PCケーブルの一部を、主桁上縁定着(床版上面)で定着している。
・1980年～1993年 (桁長28m以上) ・1994年以降 に設計のポステン桁	 主桁端部でPCケーブルを定着している。

45

参考 PC桁の間詰めコンクリートの形状の推移



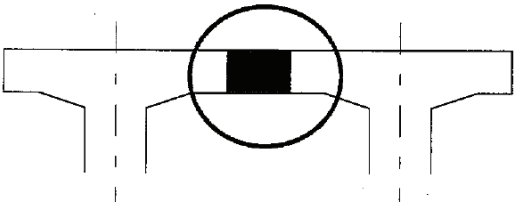
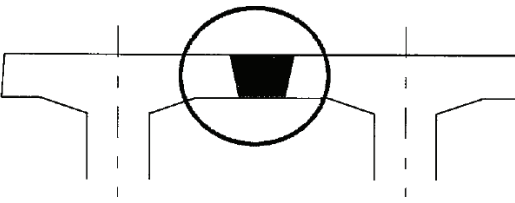
間詰めコンクリート



間詰め部と主桁との接合部からの遊離石灰(エフロレッセンス)や錆汁の流出している。間詰め部の抜け落ちが懸念される。

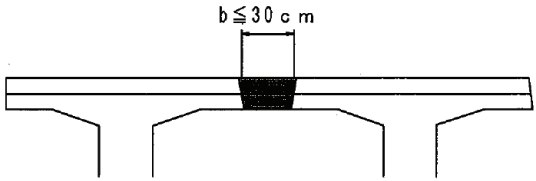
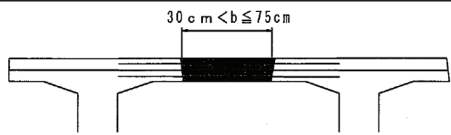
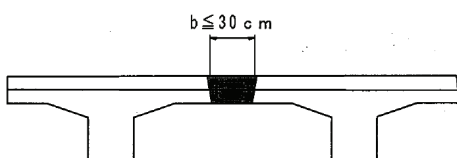
46

間詰めコンクリートの形状は設計時の年代により異なっている。

ポスト桁	プレート桁	間詰めコンクリートの形状	
1968 年以前	1970 年以前	間詰めの形状が長 方形であり、抜け落 ちしやすい形状	
1969 年以降	1971 年以降	間詰めの形状が逆 台形(クサビ形状) であり、抜け落ちし 難い形状	

47

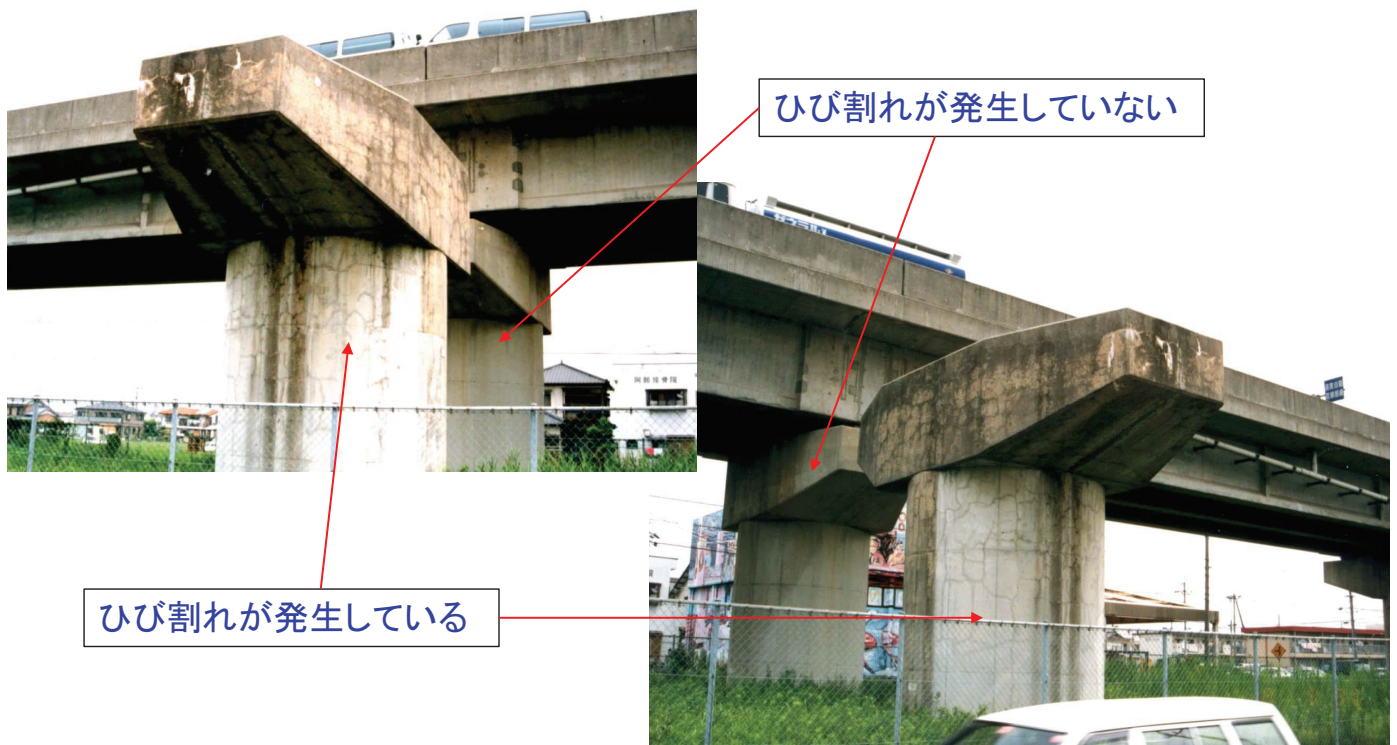
間詰め部への鉄筋定着方法は設計年代により異なっている。

	間詰め部への鉄筋定着	
プレ テン 桁	間詰め部の幅が30cm以下 、フルプレストレス状態で引 張応力が生じない。 →鉄筋は年代を問わず設 置されていない。	
ポ ス テ ン 桁	1969年以降の標準設計→ 鉄筋が設置されている。	
	間詰め部の幅が30cm以下 の場合 →現在でも鉄筋は設置され ていない。	

48

事例－8 完成後の環境の違いにより損傷の発生状況が異なる場合もある。

同時に施工されたRC橋脚にも関わらず、**極端にひび割れ発生状況が異なっている**。この原因は？



原因の推測

- ・施工記録によると施工された高架橋のRC橋脚は同一材料で同時期に完成している。
- ・上部工が架設されている側のRC橋脚にはひび割れが見られていないが、架設されていない側のRC橋脚には多くのひび割れが発生している。
- ・施工後の環境としては、**上部工が架設されている側のRC橋脚には雨は当たらない**が、架設されていない側のRC橋脚には常に雨が当たっている。
- ・ひび割れ形態からアルカリ骨材反応(ASR)によるひび割れと推測される。
- ・**ASRは水、反応性骨材、セメント中のアルカリ金属(Na、K)の三つが揃わないと進行しない**。つまり、上部工が架設されていない側のRC橋脚はこの中の水がないため、ASRの反応が起こらずひび割れが発生していないと推測される。

今後の対応策

- ・同時に施工されている他のRC橋脚も調べ、必要に応じて対策を講じる。
- ・上部工が架設されている側のRC橋脚には、**潜在的にASRが進行する状況にあり、水分の浸入を抑制する対策を講じる必要がある**。
- ・ASRのひび割れにより、コンクリートが脆弱しており、鉄筋が破断している可能性もあることから、詳細調査を行い、補修・補強で対応するものと、更新するものに仕分けする必要がある。
- ・上部工が架設される前までに、対策を講じる必要がある。

まとめ

事例－1 橋面舗装の損傷が床版の損傷に関連している場合もある。

⇒RC床版上面の土砂化

事例－2 橋面舗装の損傷が橋梁本体の欠陥によるものもある。

⇒鋼床版箱桁ブラケットの剛性不足

事例－3 橋梁外の損傷でも橋梁本体に原因にあることもある。

⇒側方流動のよる橋台の沈下・移動

事例－4 微細な損傷が重大な損傷に発展するものもある。

⇒PC橋の塩害

事例－5 鋼部材に発生している錆汁が意味することは？

⇒鋼橋の疲労亀裂

事例－6 外観上は問題ない鋼製支承に隠れている問題は？

⇒鋼製支承の回転・移動機能の低下

事例－7 適用した設計基準に従って造られたものであっても、当時は気付かなかった不具合により損傷が発生することもある。

⇒PCポステン桁のグラウト不良

事例－8 完成後の環境の違いにより損傷の発生状況が異なる場合もある。

⇒アルカリ骨材反応 (ASR) によるひび割れ

51

設立10周年記念 CAESAR講演会 2018 9.28

ご清聴ありがとうございました。

(株)松村技術士事務所
松村英樹

52

CAESAR設立10年の 研究活動と展望

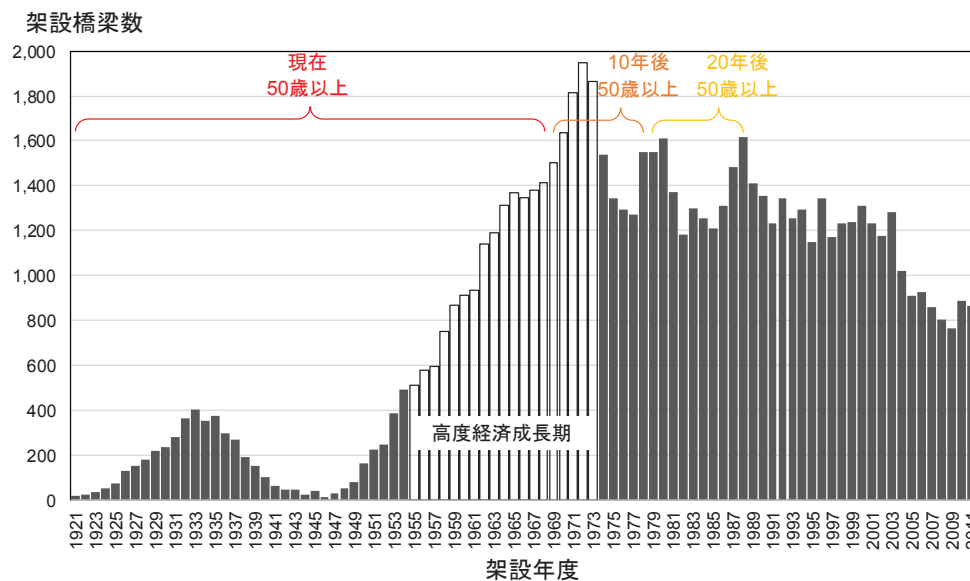
H30.9.28 設立10周年記念CAESAR講演会

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

3

設立の背景

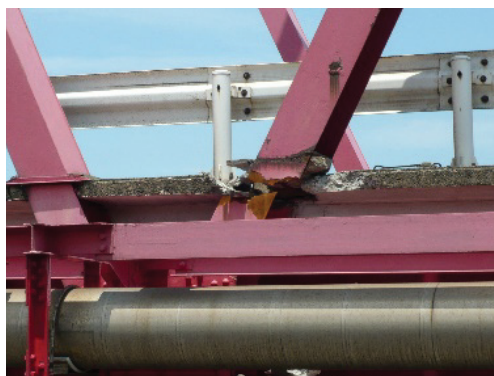
- ▶ アメリカミネソタ州ミネアポリスI-35W橋の崩落事故
- ▶ 鋼トラス橋の引張斜材が腐食等により破断（平成19年木曽川大橋、本荘大橋）
- ▶ 大規模な自然災害の頻発（平成7年兵庫県南部地震）



（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

4

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。

5

組織・体制

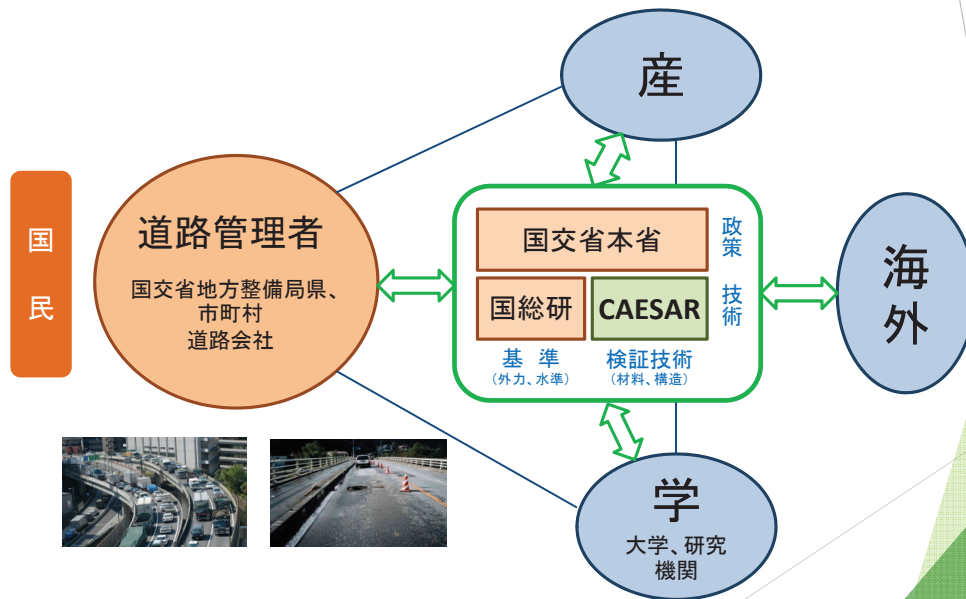
- ▶ 平成20年4月1日 CAESAR設置



6

組織・体制

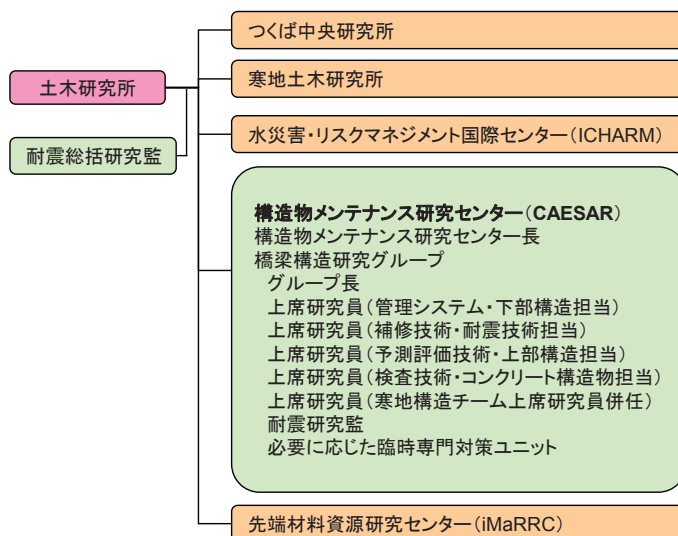
- ▶ 維持管理技術の高度化、長寿命化、災害時復旧の更なる迅速化、新設橋梁の設計施工など、道路橋の安全管理のための構造技術に関わる総合研究機関



7

組織・体制

- ▶ 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力に富む組織

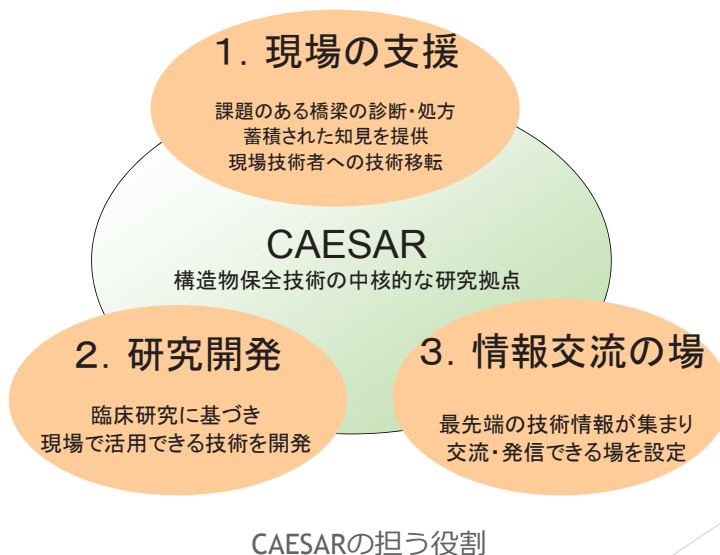


土木研究所の組織とCAESARの位置づけ

8

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



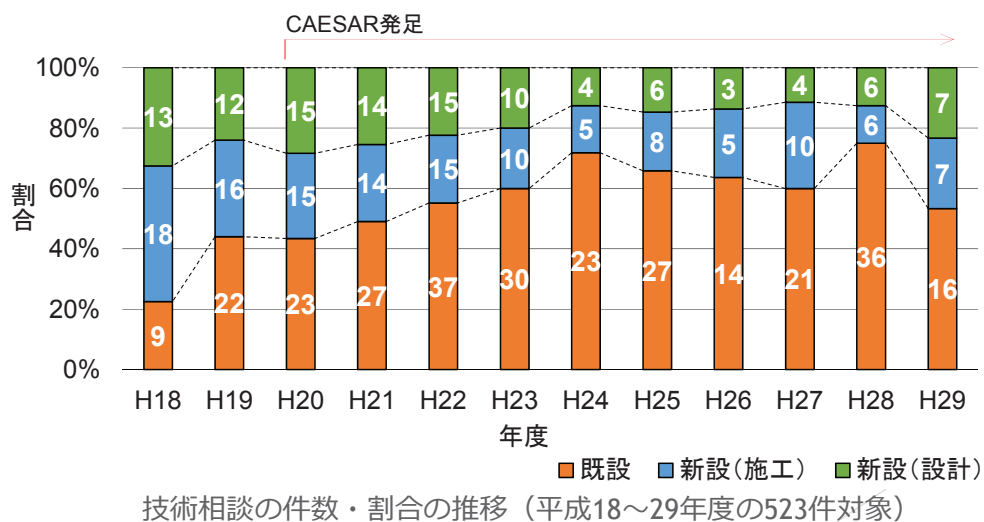
9

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

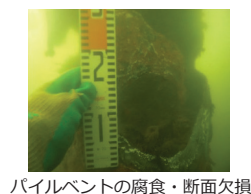
橋梁以外の構造物を含めた全相談件数・回数（H18～H29）：672件・931回



10

現場の支援

- ▶ 技術相談、既設道路橋に関するものが多い



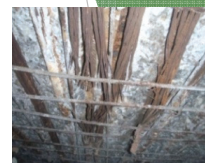
パイルベントの腐食・断面欠損



鋼床版で発見された亀裂



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

11

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

12

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

13

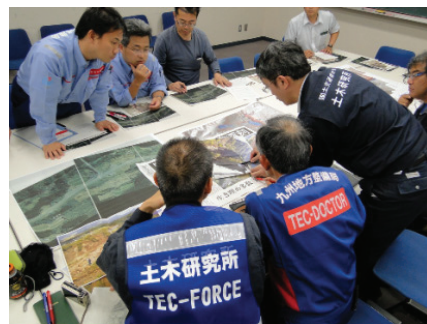
現場の支援

- ▶ 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）



調査橋梁数：約100橋

熊本地震における道路橋の被災調査



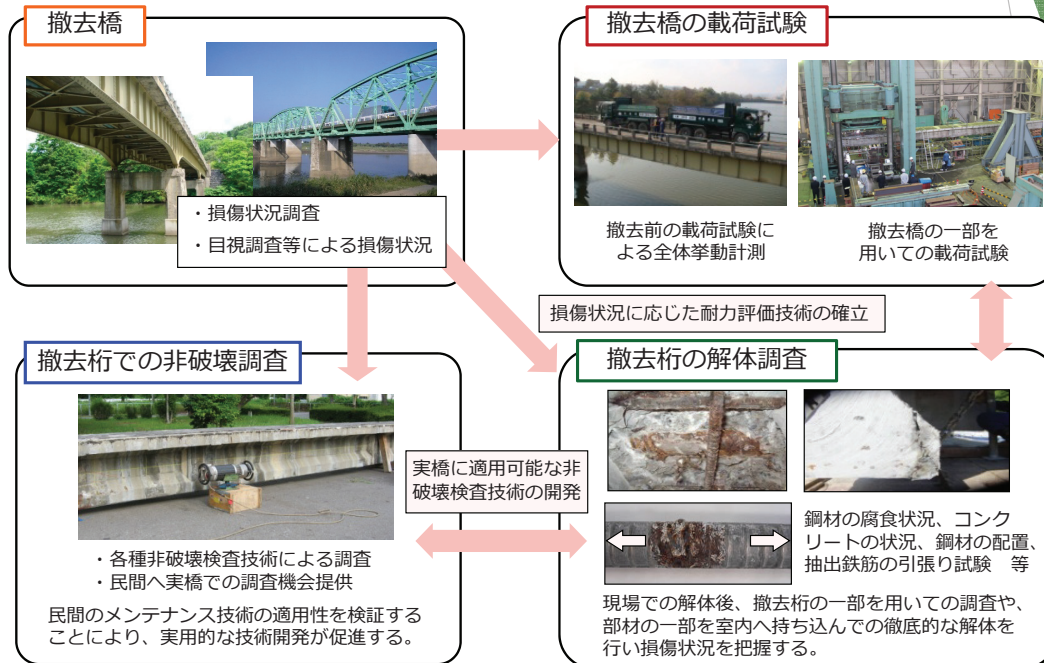
地方整備局・熊本県との打ち合わせ



14

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

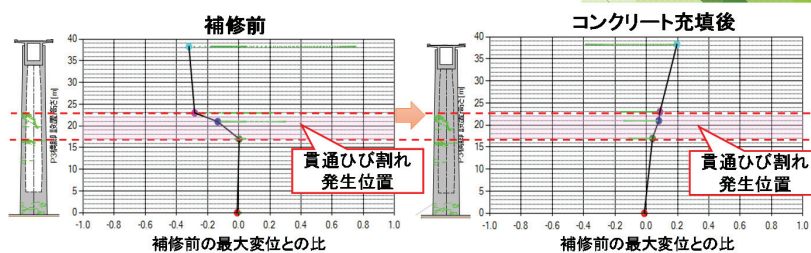
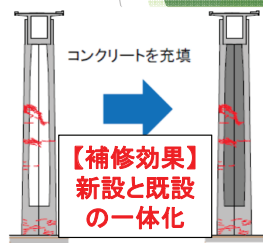
設立目的：

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

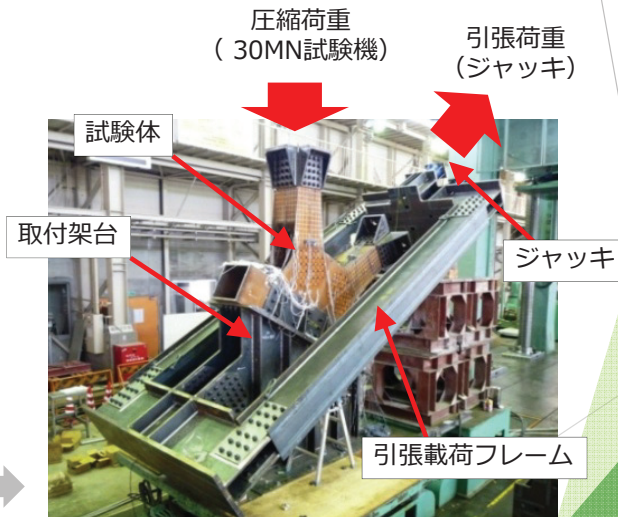
研究開発（メンテナンス）

▶ 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

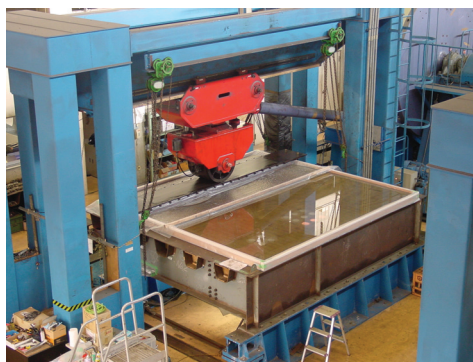
19

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

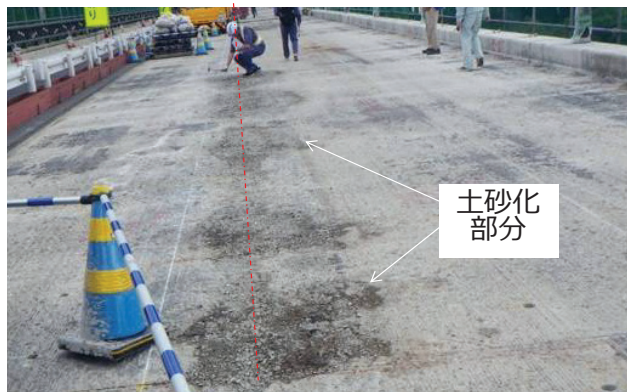


水張り輪荷重走行試験による
鋼床版上のSFRC舗装の耐久性試験

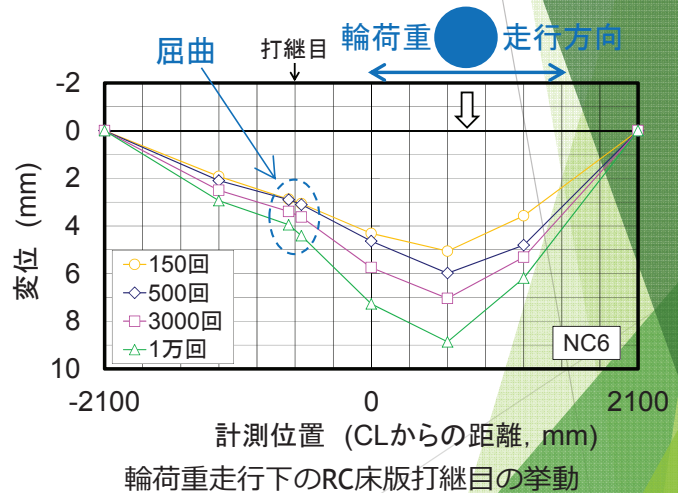
20

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）



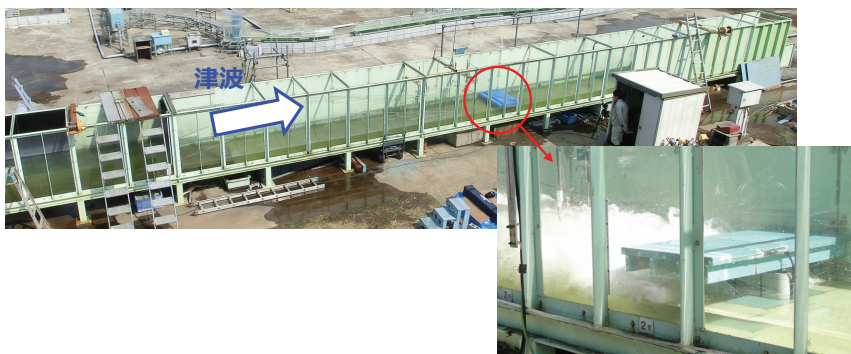
RC床版上面の土砂化事例



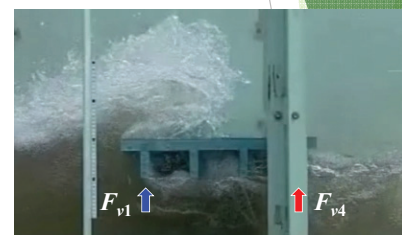
21

研究開発（耐震）

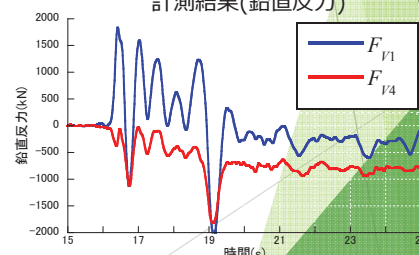
- ▶ 耐震性能に基づく既設橋の評価と耐震補強技術（平成7年兵庫県南部地震、平成23年東日本大震災、平成28年熊本地震）
- ▶ 来るべき大地震への対応（東南海・南海地震等の巨大地震の発生）
- ▶ 地震動以外の地震の影響への対応
例）被害実態を踏まえた津波が橋梁に及ぼす影響の検討



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)

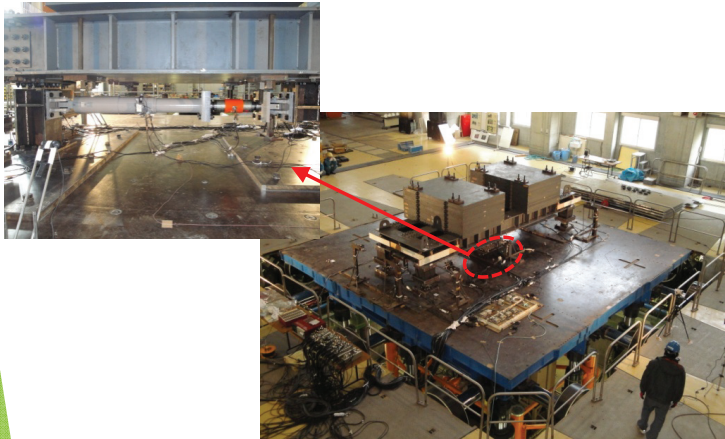


上部構造に作用する力（作用側）を再現

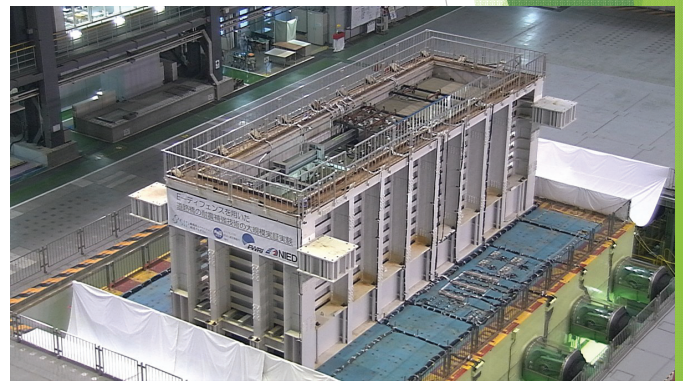
22

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

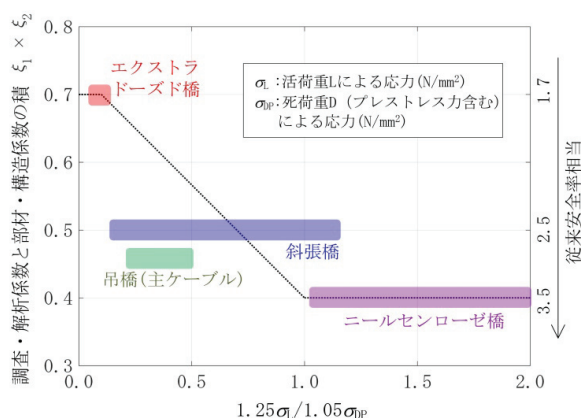


液状化地盤上の橋梁の耐震補強技術を開発
するためE-ディフェンスにおいて行った実験

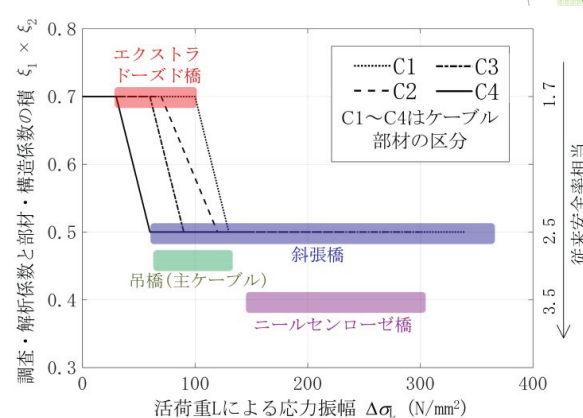
23

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



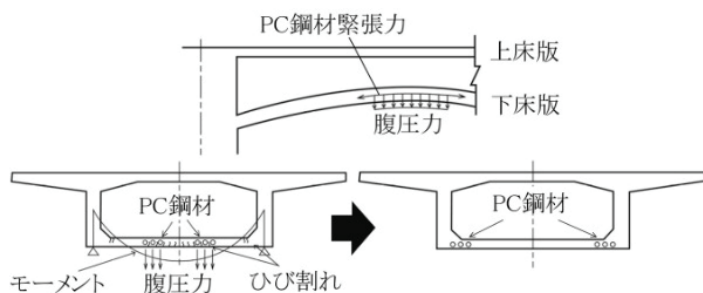
(b)応力振幅による実績の整理

死活荷重比率と応力振幅と部分係数の関係

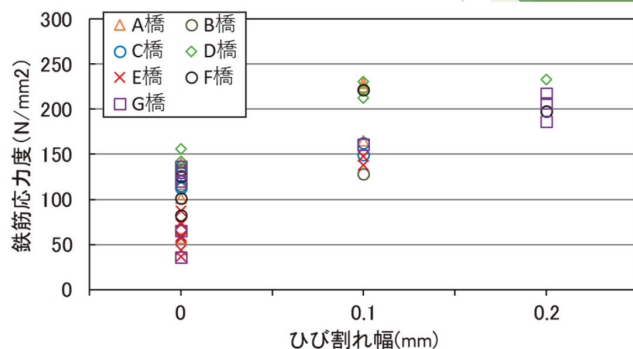
24

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



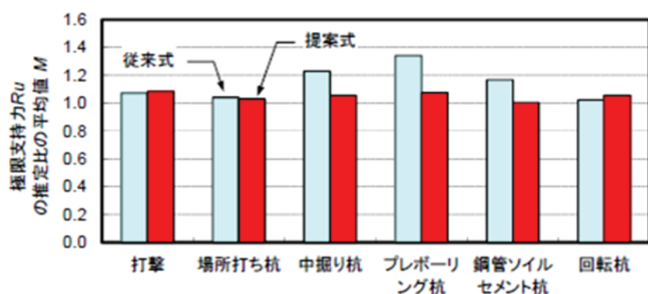
(b) 実測されたひび割れ幅と下床版に配置された鉄筋の応力度（計算値）との関係

腹圧力の影響

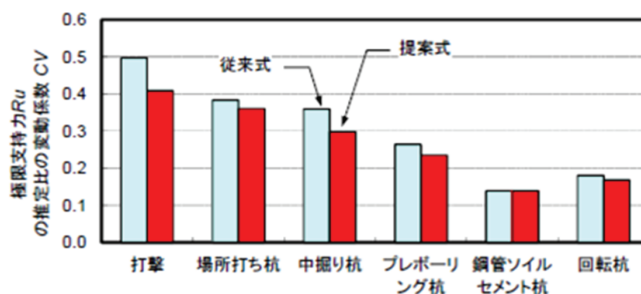
25

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)



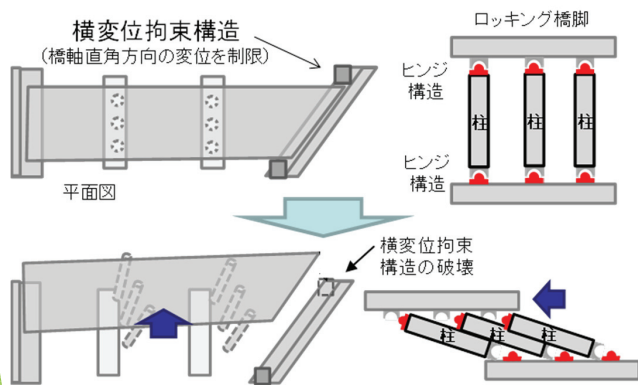
(b) 変動係数 CV (0.0 に近いほど良好)

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



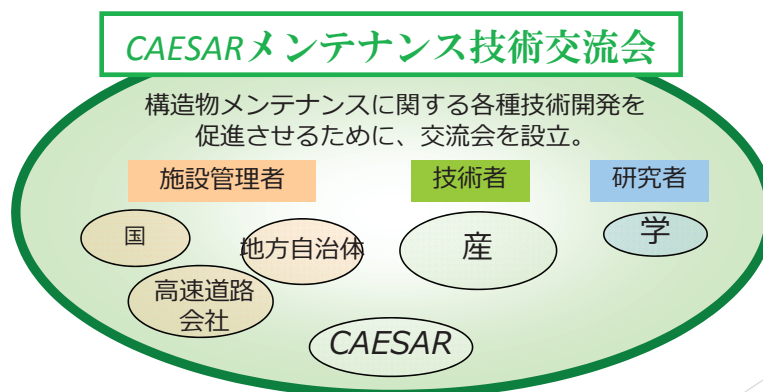
対策後

耐震補強の施工例（国交省HP）

27

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

28

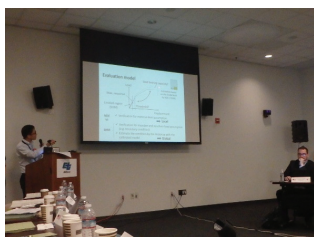
情報交流の場

▶ 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）

29

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

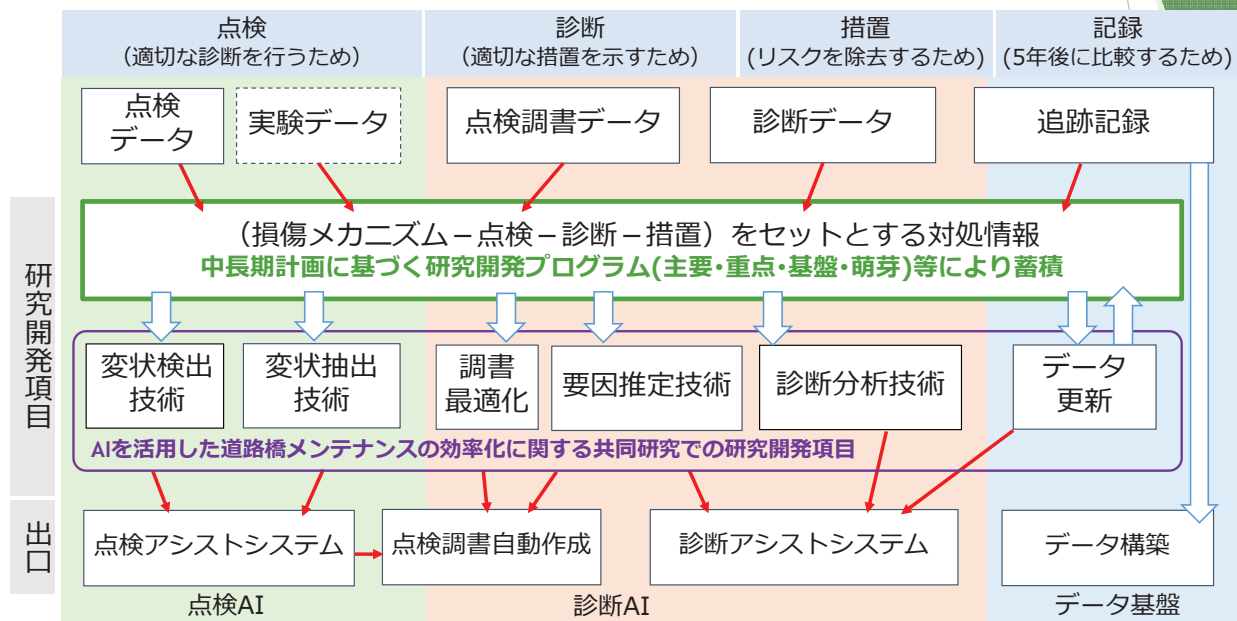
赤字は今後重点的に取り組むべき項目

	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

30

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

道路橋のメンテナンスサイクル におけるAI技術の活用

平成30年9月28日

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)
石田 雅博

1

道路橋の予防保全に向けた提言（平成20年(2008)5月）

「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）

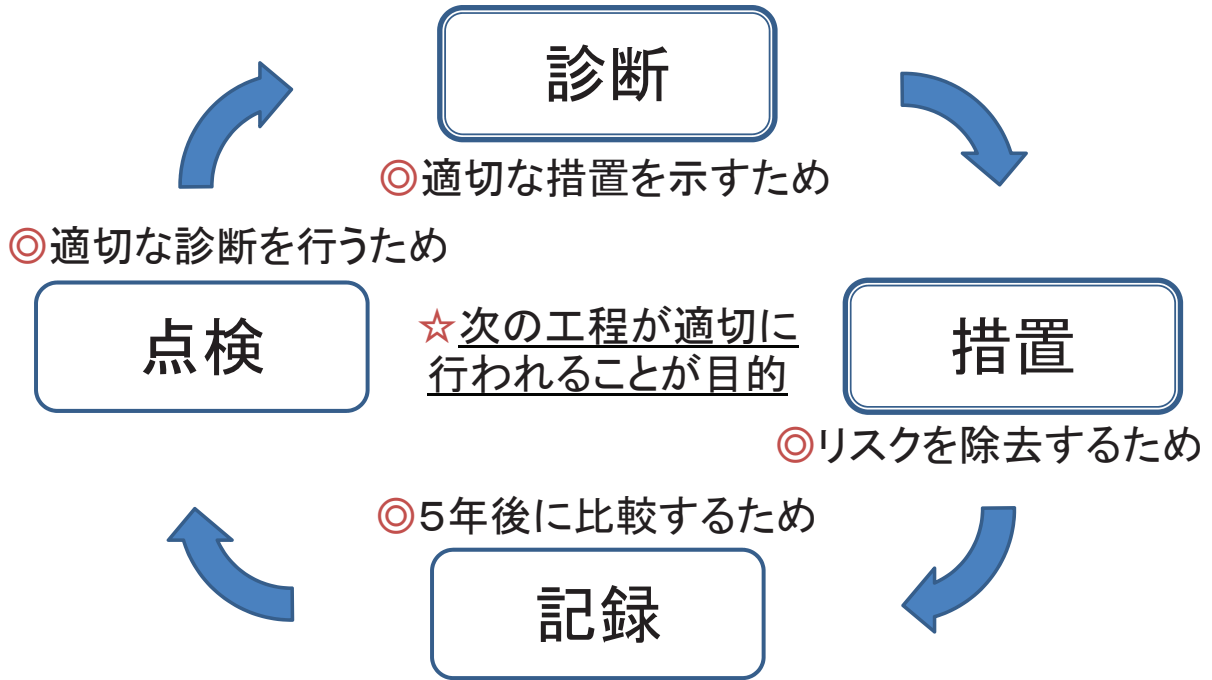
点検等の技術支援を行う拠点を中央・地方ブロック毎に整備し、集積した損傷事例等の最新情報を全国の道路管理者等に提供。また、これらの技術拠点で維持管理に関する高度な専門技術者の育成を支援。

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。

2

メンテナンスサイクル それぞれ何のために行うのか？



3

定期点検の義務化 省令・告示の施行、点検要領の通知(道路管理者の義務の明確化)

〔点検〕 橋梁(約70万橋)・トンネル(約1万本)等は、国が定める統一的な基準により、5年に1度、近接目視による全数監視を実施



道路法施行規則(平成26年3月31日公布、7月1日施行)(抄)
(道路の維持又は修繕に関する技術的基準等)
……点検は、……、**近接目視**により、**五年に一回の頻度**で行うことを基本とすること。

〔診断〕 統一的な尺度で健全度の判定区分を設定し、診断を実施

トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示(平成26年3月31日公布、7月1日施行)
トンネル等の健全性の診断結果については、次の表に掲げるトンネル等の状態に応じ、次の表に掲げる区分に分類すること。

区分		状態
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

4

橋梁名	路線名	所在地	起点側	緯度	43° 11′ 02″	
〇〇橋 (フリガナ)マルマルバシ	国道〇号	〇〇県△△市□□地先			経度 141° 19′ 28″	
管理者名	点検実施年月日	路下条件	代替路の有無	自専道or一般道	緊急輸送道路	占用物件(名称)
〇〇県△△土木事務所	2013.5.〇	市道	有	一般道	二次	水道管

部材単位の診断(各部材毎に最悪値を記入)				点検者	(株)〇〇コンサルタント	点検責任者	△△ □□
点検時に記録				措置後に記録			
部材名	判定区分 (Ⅰ～Ⅳ)	変状の種類 (Ⅱ以上の場合に 記載)	備考(写真番号、 位置等が分かる ように記載)	措置後の 判定区分	変状の種類	措置及び判定 実施年月日	
上部構造	主桁	Ⅱ	腐食	写真1、主桁02	Ⅰ	2014.8.〇	
	横桁	Ⅱ	腐食	写真1、横桁02	Ⅰ	2014.8.〇	
	床版	Ⅲ	ひびわれ	写真2、床版01	Ⅱ	2014.8.〇	
下部構造	Ⅰ						
支承部	Ⅰ						
その他							

道路橋毎の健全性の診断(判定区分Ⅰ～Ⅳ)			
点検時に記録		措置後に記録	
(判定区分)	(所見等)	(再判定区分)	(再判定実施年月日)
Ⅲ	部分的に床版の打ち替えが必要	Ⅱ	2016.7.〇

全景写真(起点側、終点側を記載すること)

架設年次	橋長	幅員
1984年	107m	11.8m



※架設年次が不明の場合は「不明」と記入する。

状況写真(損傷状況)
○部材単位の判定区分がⅡ、Ⅲ又はⅣの場合には、直接関連する不具合の写真を記載のこと。
○写真は、不具合の程度が分かるように添付すること。

上部構造(主桁、横桁)【判定区分: Ⅱ】		上部構造(床版)【判定区分: Ⅲ】	
写真1		写真2	
主桁02、横桁02		床版01	
支承部【判定区分: 】		下部構造【判定区分: 】	

② 点 検

1 まず、大きな視野で見て、

2 細部を詳しく見てみる

チェックポイント1

- 1) 高欄、防護柵、地覆の状態
- 2) 橋梁上の舗装の状態
- 3) 伸縮装置の状態
- 4) 排水装置の状態
- 5) 道路照明、道路標識の状態
- 6) 桁、床版の状態
- 7) 橋台、橋脚、基礎の状態

1)～5): 橋面からの点検

6)～7): 橋の横や下からの 遠望目視

チェックポイント2

- ① チェックポイント1よりも詳細な
桁、床版の状態
- ② チェックポイント1よりも詳細な
支承の状態
- ③ チェックポイント1よりも詳細な
橋台、橋脚、基礎の状態

①～③: 橋の横や下を **近接目視**

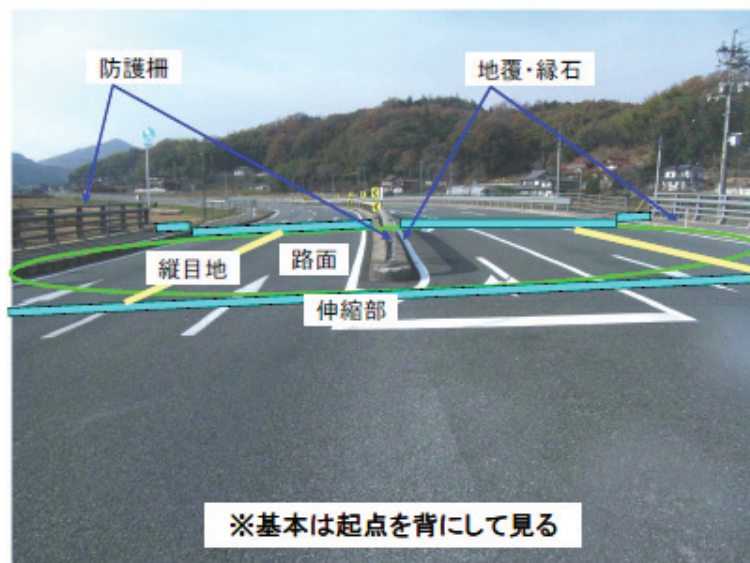
31

橋梁の基礎知識と点検のポイント
(国土交通省中国地方整備局中国技術事務所)

7

② 点 検 (橋梁点検の流れ)

1 橋梁正面から変状の確認

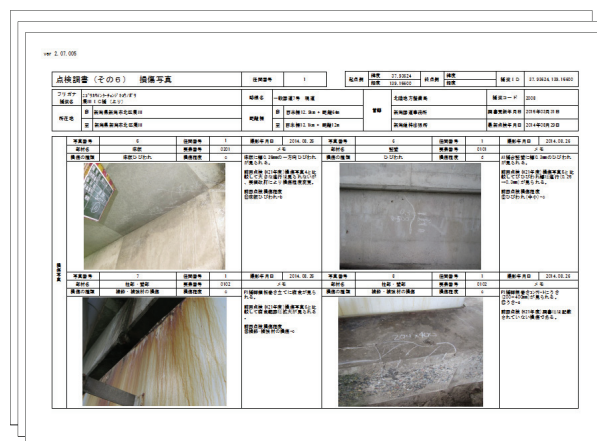


32

橋梁の基礎知識と点検のポイント
(国土交通省中国地方整備局中国技術事務所)

8

国が管理する橋梁(38,158橋)については、平成16年度から点検を実施（現在3巡目）



9

(参考)橋梁定期点検要領における26の変状

- ①腐食
- ②亀裂
- ③ゆるみ・脱落
- ④破断
- ⑤防食機能の劣化
- ⑥ひびわれ
- ⑦剥離・鉄筋露出
- ⑧漏水・遊離石灰
- ⑨抜け落ち
- ⑩補修・補強材の損傷
- ⑪床版ひびわれ
- ⑫うき⑬遊間の異常
- ⑭路面の凹凸
- ⑮舗装の異常
- ⑯支承部の機能障害
- ⑰その他
- ⑱定着部の異常
- ⑲変色・劣化
- ⑳漏水・滞水
- ㉑異常な音・振動
- ㉒異常なたわみ
- ㉓変形・欠損
- ㉔土砂詰まり
- ㉕沈下・移動・傾斜
- ㉖洗掘

[illegible][illegible][illegible]

橋梁定期点検要領, 国土交通省 道路局 国道・防災課, 平成26年6月, pp.8~10

定期点検要領に記載されている「損傷程度の評価」や「損傷パターンの区分」は定性的

床版ひびわれ

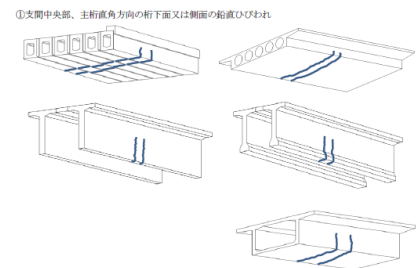
損傷程度の評価は、次の区分によるものとする。

状態	1方向ひびわれ			2方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	漏水・ 凍害・ 腐蝕	性状	ひびわれ	漏水・ 凍害・ 腐蝕
a		損傷なし	なし	—		
b		・ひびわれは主として1方向のみ ・最小ひびわれ間隔は20.0mm以上 ・最大ひびわれ幅は0.05mm以下 (ベアークラック程度)	なし	—		
c		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m程度以上 ・ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在)	なし
d		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.5m程度以上 ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	なし
e		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在)	あり
f		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、 部分的な角落ちも見られる	なし		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、 部分的な角落ちも見られる	なし
g		・ひびわれは主として1方向のみ ・ひびわれ間隔は開かない ・最大ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、 部分的な角落ちも見られる	あり		・ひびわれは格子状 ・格子の大きさは0.2m以下 ・ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、 部分的な角落ちも見られる	あり

損傷パターンの区分

a) 上部構造 (RC, PC共通)

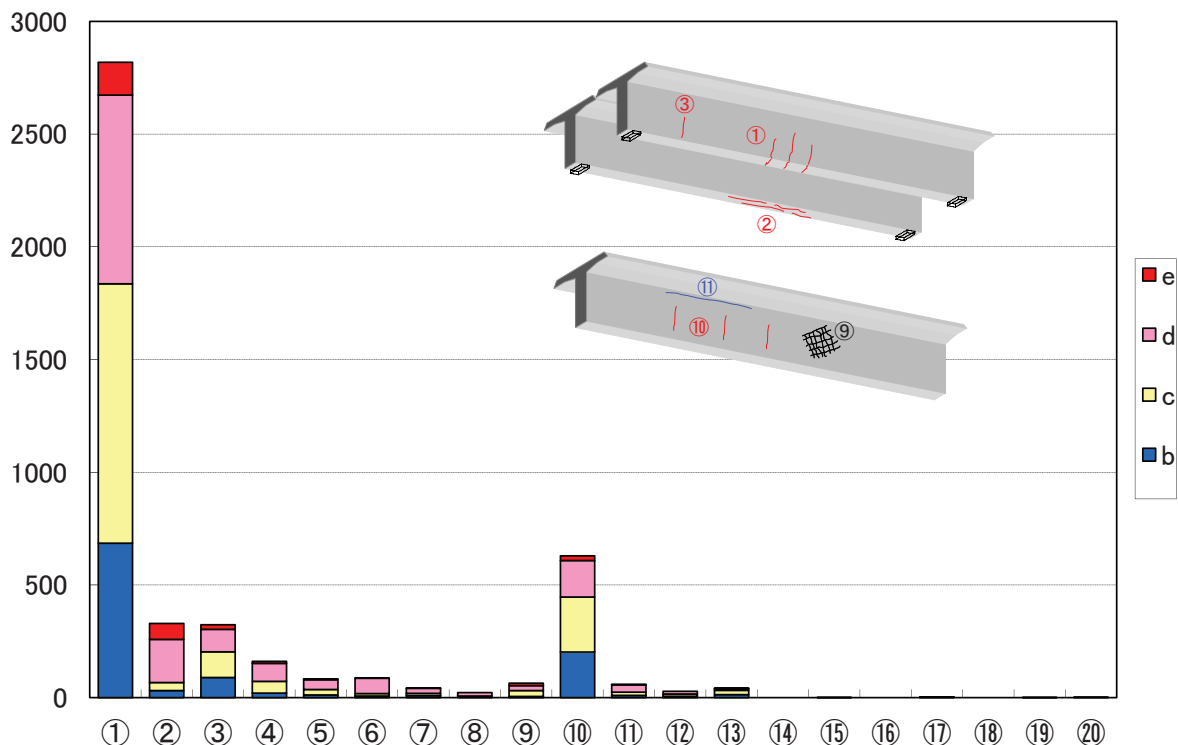
位 置	ひびわれパターン
支間中央部	①主桁直角方向の桁下面又は側面の鉛直ひびわれ ②主桁下面縦方向ひびわれ
支間1/4部	③主桁直角方向の桁下面又は側面の鉛直又は斜めひびわれ
支 点 部	④支点付近の腹部に斜めに発生しているひびわれ ⑤支承上の桁下面又は側面に鉛直に発生しているひびわれ ⑥支承上の桁側面に斜めに発生しているひびわれ ⑦ゲルバー部のひびわれ ⑧連続桁中間支点部の上側の鉛直ひびわれ
そ の 他	⑨亀甲状、くもの巣状のひびわれ ⑩桁の腹部に規則的な間隔で鉛直方向に発生しているひびわれ ⑪ウェブと上フランジの接合点付近の水平方向のひびわれ ⑫桁全体に発生している斜め45°方向のひびわれ
支間1/4部又は 支点部	⑬桁下面又は側面の橋軸方向ひびわれ (⑩に該当するものは除く。)
支間全体	⑭上フランジのひびわれ
横 桁	⑮支間全体で桁腹部に発生している水平方向ひびわれ ⑯横桁部のひびわれ



→ カメラ画像やレーダー等により得られた記録も活用

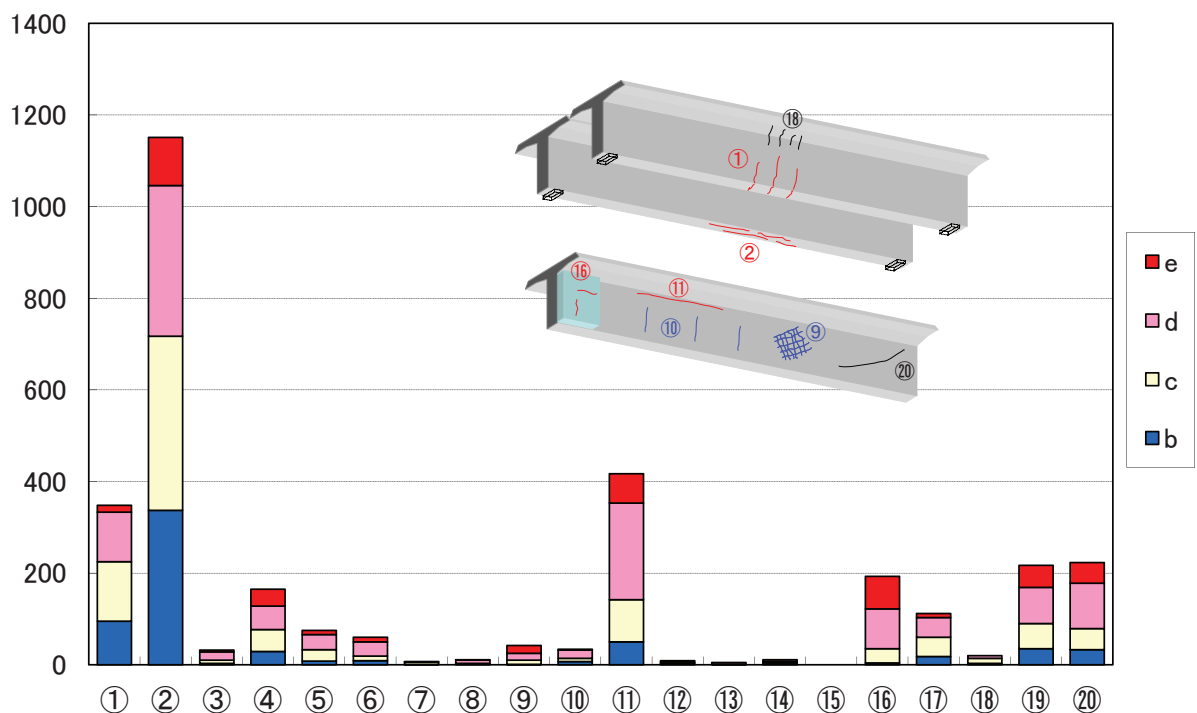
11

直轄管理コンクリート橋損傷状況 RCT桁



12

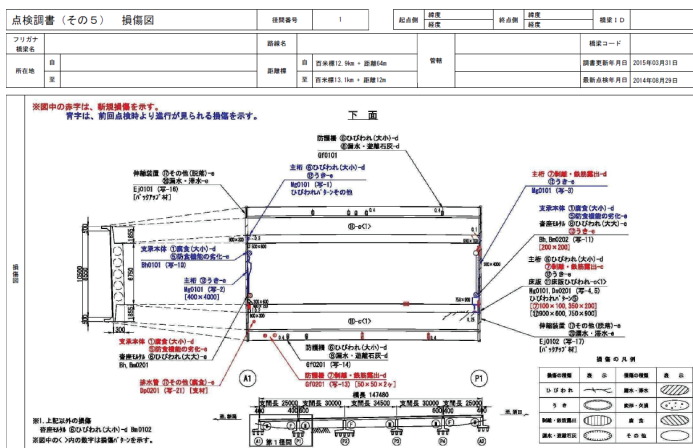
直轄管理コンクリート橋損傷状況 ポステンT桁



13

診断・措置の支援

国が管理する橋梁(38,158橋)については、平成16年度から点検を実施（現在3巡目）
→ 大量の過去データがある



※ この橋梁では点検調査が82頁ある

- 専門家が総合的に診断
 - ・橋梁形式、供用年代、環境条件(交通量、塩害区分)
 - ・桁下の状況と路面の状況の突き合わせ
 - ・過去からの変状の進展具合、補修・補強の履歴
- ※人間がデータを分析するには相当な時間を要す

→ 専門家の仮説(暗黙知)をAIで分析・検証

↓
診断・措置の支援



14

点検調書（その1） 橋梁の諸元と総合検査結果				起点側		終点側		橋梁 I D									
				経度	緯度	経度	緯度										
フリガナ 橋梁名	路線名			管轄		橋梁コード											
所在地	自	至	距離	自	至	調査更新年月日	2015年03月31日										
			距離	自	至	最新点検年月日	2014年08月29日										
供用開始日	1986年10月20日	橋長	147.48m	活荷重・等級	T T - 4 3 1 等橋		適用示方書	昭和53年 道路橋示方書 1 共通編3コンクリート橋編	調査年	2010年							
上部構造形式	単純P Cポステン中空床版橋、3径間連続P Cポステン中空床版橋、単純P Cポステン中空床版橋			全幅員	10.50m	地盤幅	歩道幅	車道幅・車線	車道幅・車線	歩道幅	地盤幅	中央帯	中央分離帯	交通量	50,005台		
				有効幅員	9.50m	0.50m	0.00m	0.00m	0	7.00m	2	0.00m	0.50m	0.00m	0.00m	昼間12時間	
下部構造形式	逆T式橋台2基、壁式橋脚（RC）4基			備考													
基礎形式	場所打ち（深礎を含む）6基																
<table border="1"> <tr> <td>健全度 (橋単位)</td> <td>II</td> </tr> </table> 本橋は供用後28年が経過した「単純P Cポステン中空床版橋+3径間連続P Cポステン中空床版橋+単純P Cポステン中空床版橋」である。 (1) 健全度 ◇道路橋の機能に支障を生じていないが、主桁のひびわれ、うき、剥離・鉄筋露出や床版のひびわれ、伸縮装置からの漏水など予防保全の観点から措置を講じることが望ましい部材があるため、区分Ⅱとした。 (2) 対策区分 ※「Ⅰ」の後ろは代表的な補修工法等 E1・E2：緊急対応の必要がある損傷 ◇なし C2：橋梁構造の安全性の観点から、速やかに補修する必要がある損傷 ◇なし C1：予防保全の観点から、速やかに補修する必要がある損傷 ◇ひびわれ：主桁（第1・2・4・5径間）→ 叩き落とし+断面修復 ◇床版ひびわれ：床版（第5径間）→ 叩き落とし+断面修復 ◇その他：伸縮装置（第1径間）→ 非排水バックアップ材の更新 S1：詳細調査の必要がある損傷 ◇なし S2：追跡調査の必要がある損傷 ◇なし M：維持工事で対応する必要がある損傷 ◇舗装の異常：舗装（第5径間）：舗装ひびわれ ◇支脚・欠損：防護欄（第2径間）：反り板の更新 B：状況に応じて補修する必要がある損傷 ◇腐食：支保本体、アンカーボルト、排水ます ◇ひびわれ：主桁、柱部・壁部、堅壁、寄座モルタル、落橋防止システム、防護欄 ◇漏水・遊離石灰：主桁、防護欄 ◇床版ひびわれ：床版 ◇路面の凹凸：舗装 ◇支脚・欠損：主桁、伸縮装置 (3) 特記事項 ◇主桁のひびわれ、うき、剥離・鉄筋露出や床版のひびわれは、直上伸縮装置からの漏水により継続的に進行しているため、予防保全の観点からC1判定とした。 ◇伸縮装置からの漏水は直下主桁や床版のひびわれやうき、支保の腐食等の進行誘因となっているため、伸縮装置は予防保全の観点からC1判定とした。 ◇剥離・鉄筋露出：主桁（第1・2・4・5径間）→ 断面修復 ◇うき：主桁（第1・2・4・5径間）→ 叩き落とし+断面修復 ◇漏水・漏水：伸縮装置（第1・4・5径間）→ 非排水構造の更新 ◇その他：排水管（第3径間）：取付ボルトの設置 ◇土砂詰り：伸縮装置（第1・4径間）、舗装（全径間）、排水ます（第2径間） ◇防食機能の劣化：支保本体、アンカーボルト、排水ます ◇剥離・鉄筋露出：防護欄 ◇補修・補強材の損傷：柱部・壁部 ◇うき：主桁、床版、柱部・壁部、寄座モルタル ◇その他：排水管																健全度 (橋単位)	II
健全度 (橋単位)	II																

点検調書（その5） 損傷図				径間番号		1		起点側		終点側		橋梁 I D																					
				経度	緯度	経度	緯度																										
フリガナ 橋梁名	路線名			管轄		橋梁コード																											
所在地	自	至	距離	自	至	調査更新年月日	2015年03月31日																										
			距離	自	至	最新点検年月日	2014年08月29日																										
※図中の赤字は、新規損傷を示す。 青字は、前回点検時より進行が見られる損傷を示す。 下 面 損傷の凡例 <table border="1"> <thead> <tr> <th>損傷の種類</th> <th>表示</th> <th>損傷の種類</th> <th>表示</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ひびわれ</td> <td>ひびわれ</td> <td>漏水・漏水</td> <td>漏水・漏水</td> </tr> <tr> <td>うき</td> <td>うき</td> <td>剥離・欠損</td> <td>剥離・欠損</td> </tr> <tr> <td>剥離・鉄筋露出</td> <td>剥離・鉄筋露出</td> <td>腐食</td> <td>腐食</td> </tr> <tr> <td>漏水・遊離石灰</td> <td>漏水・遊離石灰</td> <td>その他</td> <td>その他</td> </tr> </tbody> </table> ※1. 上記以外の損傷 寄座モルタル ⑤ひびわれ(大小)-d Bm0102 ※図中の「>」の数字は損傷バツンを示す。														損傷の種類	表示	損傷の種類	表示	ひびわれ	ひびわれ	漏水・漏水	漏水・漏水	うき	うき	剥離・欠損	剥離・欠損	剥離・鉄筋露出	剥離・鉄筋露出	腐食	腐食	漏水・遊離石灰	漏水・遊離石灰	その他	その他
損傷の種類	表示	損傷の種類	表示																														
ひびわれ	ひびわれ	漏水・漏水	漏水・漏水																														
うき	うき	剥離・欠損	剥離・欠損																														
剥離・鉄筋露出	剥離・鉄筋露出	腐食	腐食																														
漏水・遊離石灰	漏水・遊離石灰	その他	その他																														

点検調査（その6） 損傷写真				径間番号		1		起点側		緯度		経度		終点側		緯度		経度		橋梁ID	
フリガナ		橋梁名		路線名				管轄						橋梁コード							
所在地		自		距離標		自				百米標12.9km + 距離64m						調査更新年月日		2015年03月31日			
		至				至				百米標13.1km + 距離12m						最新点検年月日		2014年08月29日			

損傷写真	写真番号	1		径間番号	1		撮影年月日	2014.08.25		写真番号	2		径間番号	1		撮影年月日	2014.08.25	
	部材名	主桁		要素番号	0101		メモ			部材名	主桁		要素番号	0101		メモ		
	損傷の種類	うき		損傷程度	e		主桁にうき(800×300mm)および幅0.3mmのひびわれが見られる。 ⑥ひびわれ(大小)-d 前回点検(H21年度)損傷写真2と比較してうきの範囲に拡大およびひびわれ幅に進行(0.2→0.3mm)が見られる。 前回点検損傷程度 ⑥ひびわれ(大小)-d ⑦うき-e			損傷の種類	うき		損傷程度	e		主桁にうき(400×400mm)が見られる。 前回点検(H21年度)損傷写真1と比較してうきの範囲に拡大が見られる。 前回点検損傷程度 ⑦うき-e		
																		
	写真番号	3		径間番号	1		撮影年月日	2014.08.25		写真番号	4		径間番号	1		撮影年月日	2014.08.25	
	部材名	主桁		要素番号	0101		メモ			部材名	主桁		要素番号	0101		メモ		
	損傷の種類	うき		損傷程度	e		主桁にうき(500×400mm)および剥離・鉄筋露出が見られる。 ⑦剥離・鉄筋露出-d 前回点検(H21年度)損傷写真3と比較してうきの範囲に拡大が見られる。また、新たに剥離・鉄筋露出が見られる。 前回点検損傷程度 ⑦うき-e			損傷の種類	うき		損傷程度	e		主桁にうき(750×900mm、900×600mm)および剥離・鉄筋露出(100×100mm、350×200mm)、ひびわれが見られる。 ⑥ひびわれ(大小)-d ⑦剥離・鉄筋露出-c 前回点検(H21年度)損傷写真4と比較して大きな進行は見られない。また、新たに剥離・鉄筋露出が見られる。 前回点検損傷程度 ⑥ひびわれ(大小)-d ⑦うき-e		
																		

17

点検調査（その6） 損傷写真				径間番号		5		起点側		緯度 経度		終点側		緯度 経度		橋梁ID	
フリガナ 橋梁名				路線名				管轄						橋梁コード			
所在地	自			距離標	自	百米標12.9km + 距離64m				調査更新年月日		2015年03月31日					
	至				至	百米標13.1km + 距離12m				最新点検年月日		2014年08月29日					

損傷写真	写真番号	61	径間番号	5	撮影年月日	2014.08.26	写真番号	62	径間番号	5	撮影年月日	2014.08.29
	部材名	伸縮装置	要素番号	0102	メモ		部材名	舗装	要素番号	0101	メモ	
	損傷の種類	漏水・滞水	損傷程度	e	A2橋台上伸縮装置からの漏水が見られる。 前回点検(H21年度)損傷写真43と比較して大きな進行は見られない。 前回点検損傷程度 ⑦その他(漏水)-e		損傷の種類	土砂詰まり	損傷程度	e	舗装に土砂詰まりが見られる。 前回点検(H21年度)調査には記載されていない損傷である。	
												
	写真番号	63	径間番号	5	撮影年月日	2014.08.29	写真番号	64	径間番号	5	撮影年月日	2014.08.29
	部材名	舗装	要素番号	0101	メモ		部材名	舗装	要素番号	0101	メモ	
	損傷の種類	舗装の異常	損傷程度	e	A2橋台背面舗装にひびわれが見られる。 前回点検(H21年度)調査には記載されていない損傷である。		損傷の種類	路面の凹凸	損傷程度	e	A2橋台伸縮装置近隣の舗装に路面の凹凸が見られる。 前回点検(H21年度)調査には記載されていない損傷である。	
												

18

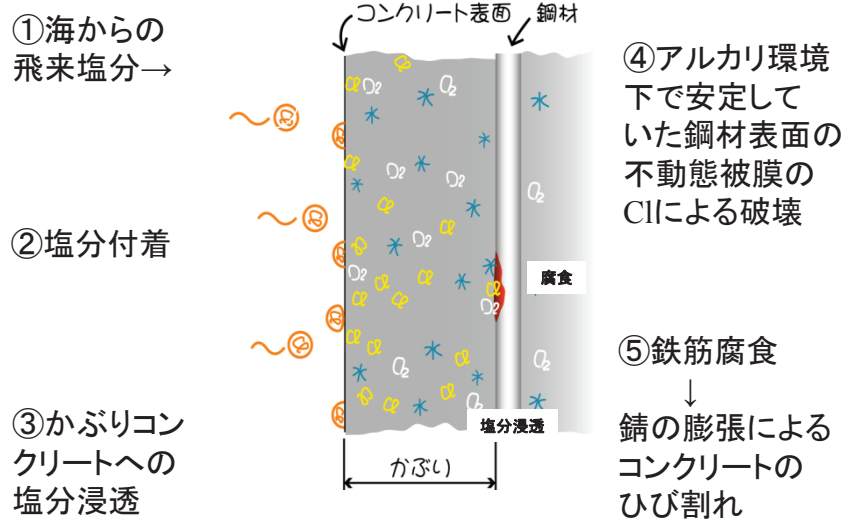


19



20

塩害による鋼材腐食の発生



21

i-Bridge(橋梁分野における生産性向上)

H29年度より試行

- 橋梁事業における調査・測量から設計、施工、検査、維持管理までのあらゆるプロセスにおいてICTを活用し、生産性・安全性を向上させる「i-Bridge(アイ・ブリッジ)」に取り組む。
- 平成29年度は、ECI方式を活用した3次元設計・施工や、維持管理分野におけるICTの導入を実施。

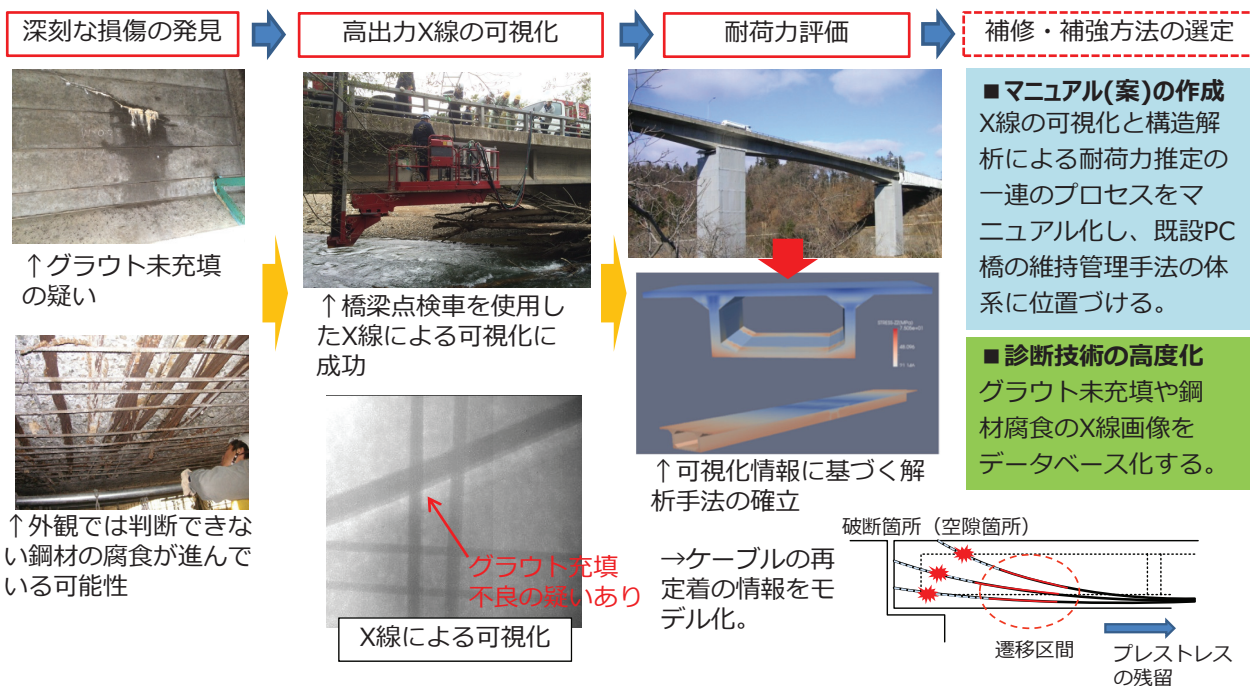
i-Bridge



15

22

- ◆通常の検査技術では判断が困難な部材深部における内ケーブル破損に対して、X線技術により可視化を行い、残存耐力を正しく評価する技術確立する。→**可視化情報に基づく耐荷力推定のプロセスを一元化**
- ◆高速道路など舗装切削前に床版土砂化の程度が把握できると出戻りが少ない→**可視化情報の活用**



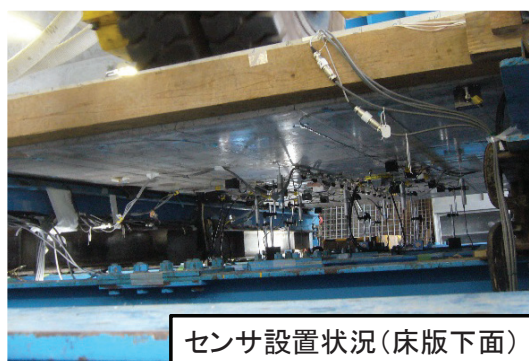
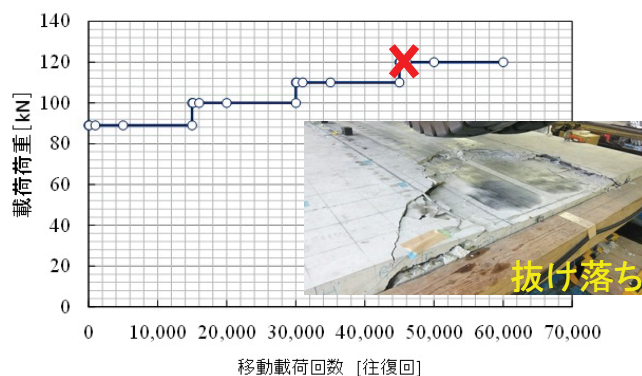
床版モニタリング室内実験

試験目的

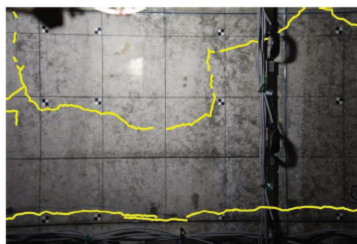
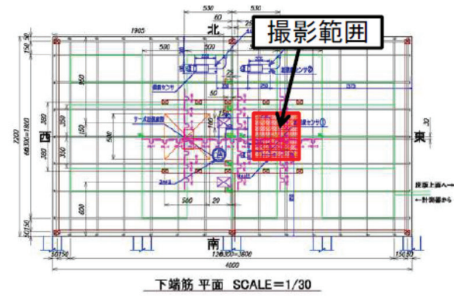
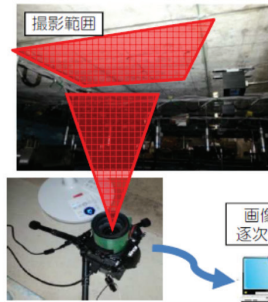
輪荷重走行試験によりRC床版の試験体を疲労損傷させ、**RC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の適用性の評価**を行う。

手順

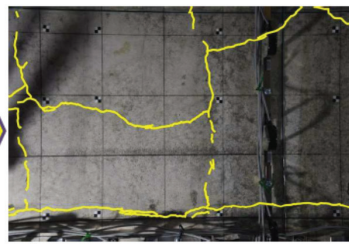
- ①走行回数と損傷程度を整理(リファレンスデータより)
- ②モニタリング技術と損傷程度の相関性を整理(どの技術がどの劣化ステージに適しているか)



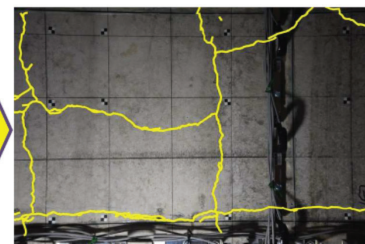
【静止画像による
ひび割れ検出技術】
カメラで撮影した静止画像
の幾何変換を行って、歪み
のない正面からの画像とし
て合成し、ひび割れを検出
する技術



荷重レベル: 89 kN
移動載荷回数 [往復回]: 5,000回
ひび割れ間隔: 13.9 cm



荷重レベル: 100 kN
移動載荷回数 [往復回]: 15,000回
ひび割れ間隔: 13.8 cm



荷重レベル: 100 kN
移動載荷回数 [往復回]: 30,000回
ひび割れ間隔: 13.7 cm

- ・ 連続撮影により、床版のひび割れが進展していく様子を捉えることができた。
- ・ 本実験の環境では高解像度の画像が得られており、0.1mmのひび割れが取得可能である。
- ・ 実橋梁では、撮影距離と取得できるひび割れ幅の関係を明らかにできると考えられる。

25

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(平成30年度)

(1) AI活用可能性調査

<点検>

- カメラ画像、電磁波レーダー画像を用いて、重要な変状等(ひびわれ等26の変状以外に、汚れ、水跡、コールドジョイント、修補跡、コンクリート床版における水の所在等も含む)の抽出・記録(点検調査書(含スケッチ)の作成、3次元データでの記録等)を行うことなどについて、AI(画像認識)の活用を検討。
- 鋼部材の表面性状や耐候性鋼橋梁のさびの状態の調査技術(例: イオン透過抵抗法(RST)の計測値)を用いて、健全度の区別に活用を検討。

リクワイアメント

- ・ 各部材、損傷の診断に使える点検内容であること。
- ・ 部材、損傷の種類ごとに設定が必要。
- ・ 最も重要な情報は「変化」。
- ・ 現在実施されている点検レベルを確保すること

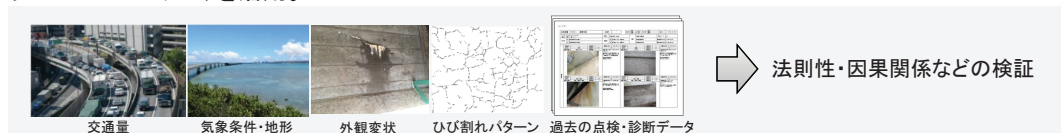


<診断>

- 点検データ(新技術含む)、診断結果データ(JBEC等の診断調査書を教師データとして活用)と橋梁基礎データ、環境データ、観測データ等から、変状と損傷との法則性、因果関係について仮説検証を行い、損傷か否か、損傷種類、程度、原因の推定と特定、処方の提示にAI(エキスパートシステム)を活用。

リクワイアメント

- ・ 措置(処方、補修・補強方針)検討に耐えること。
- ・ 責任上、ブラックボックスは不可。
- ・ ロジックの出力が必要。



26

<措置>

- 補修補強計画等(完治か延命か、更新方法、放置)の判断支援となるAI(エキスパートシステム)の活用。

<記録>

- 過去の点検データを用いて、3次元データなどを記録媒体にして、経年変化の確認にAIを活用。

リクワイアメント

- 経年変化の確認が可能なこと。
- 次回の点検、診断での判断材料として機能すること。

(2) 短中期で実現を目指すための研究開発体制の検討

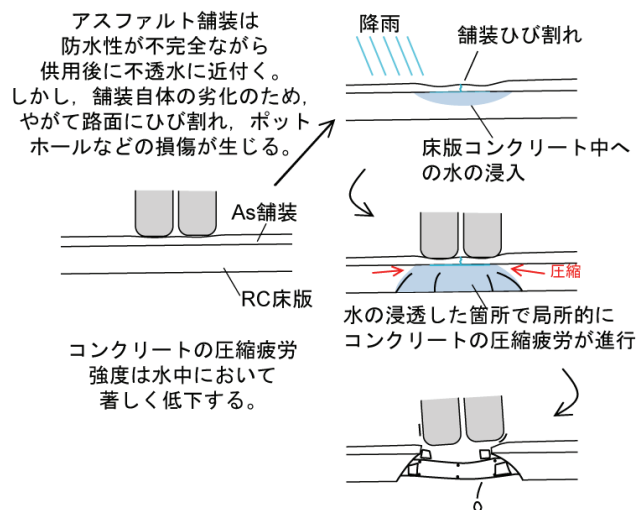
- 土研の外部に、研究組織を設立し、開発・普及展開の見通しのあるAI活用技術を開発

(土研の外部の研究組織での開発イメージ例)

- ◆ ロボット等から得られる膨大なセンシング結果から変状データをスクリーニング処理するAI等の開発環境を整備する。
- ◆ AI機能向上のために、土木技術者による正しい判断による、大量かつ正確な教師データや評価データのデータ仕様を検討し、データを整備・公表
- ◆ AI教師データとして必要な情報、様式、更新方法等を検討し、点検調査等の改善案を提案
- ◆ 試用に耐えうる段階になった損傷から順次、現場においてプロトタイプの点検・診断支援AIを活用しつつシステムをブラッシュアップ

27

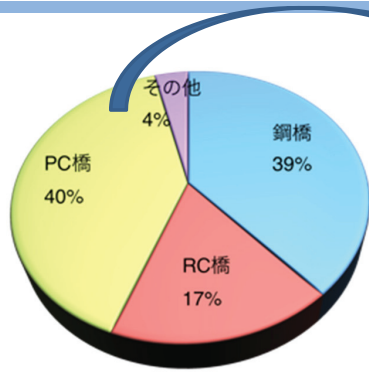
R C床版の土砂化



28

対象橋梁のポテンシャル（PC桁損傷）

29



PC橋約40%（15m以上）

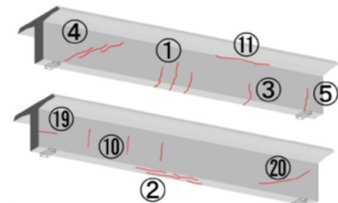
ポステンPC桁33%

構造形式	橋梁数※	
	ひび割れあり	健全含む
プレテンT桁	720	2336
プレテン中実床版	398	2635
プレテン中空床版	203	1119
ポステンT桁	897	1576
ポステン箱桁	192	231
ポステン中空床版	346	537
合計	2756	8434

※1橋で2種以上の構造形式がある場合は重複してカウントしている

→ 対象の40%にひび割れ

グラウト未充填が懸念されるひび割れ



ひび割れのうち
15%程度が②②①



→ およそ全国の1000橋が対象
(15m以上)

30

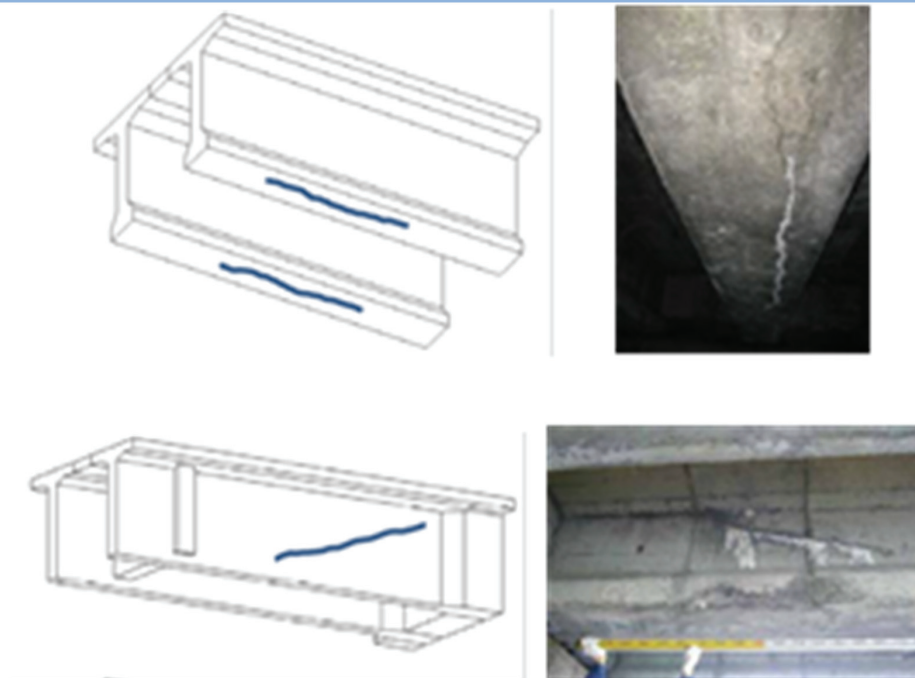


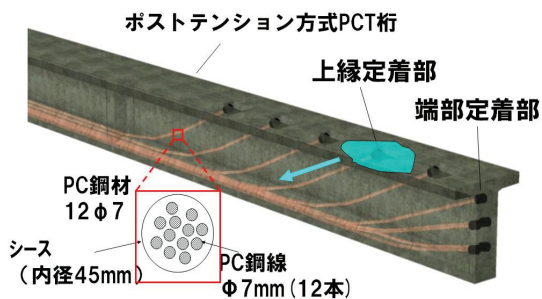
図-3 シースに沿ったひび割れの例

グラウト充填不足

橋梁	佐野橋	能生大橋	はくい 羽咋川海浜橋	T橋
充填 状況 一例	 未充填（ウェブ）	 充填不足（ウェブ）	 未充填（ウェブ）	 未充填
充填不足 調査箇所	$\frac{16}{342}$ (4.7%)	$\frac{2}{64}$ (3.1%)	$\frac{8}{145}$ (5.5%)	$\frac{0}{16}$ (0%)
未充填 調査箇所	$\frac{4}{342}$ (1.2%)	$\frac{0}{64}$ (0%)	$\frac{1}{145}$ (0.7%)	$\frac{1}{16}$ (6.3%)

PCT桁橋のPC鋼材配置の概念図

（概ね1980年代以前）



塩分を含んだ水の侵入
によるPC鋼材の腐食・破断

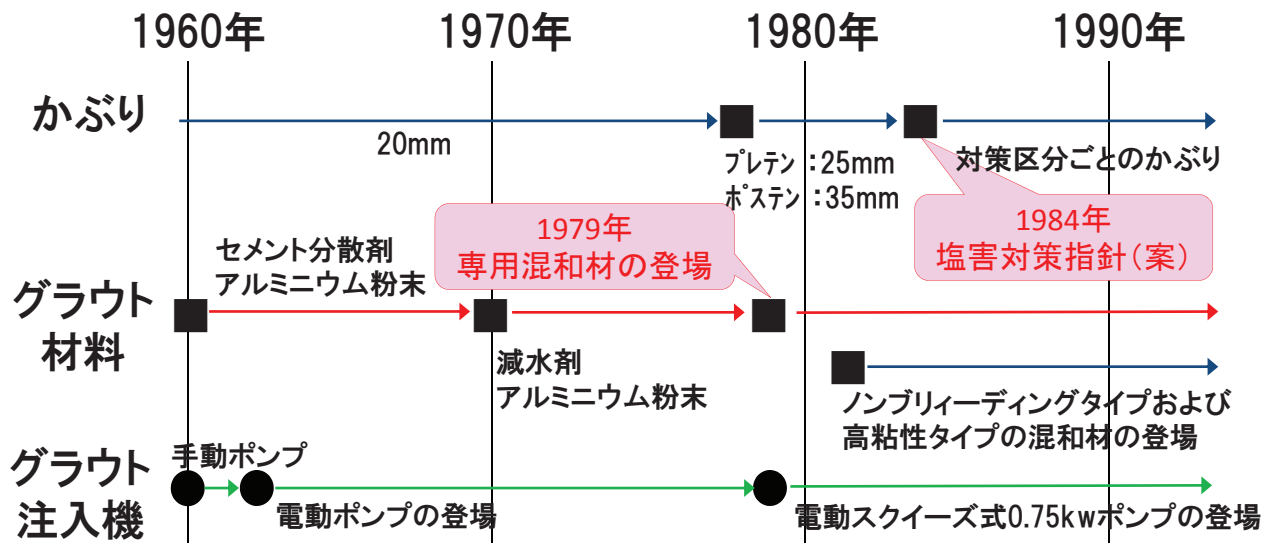


PC鋼棒の突出

31

PCのかぶりとグラウト規準の変遷

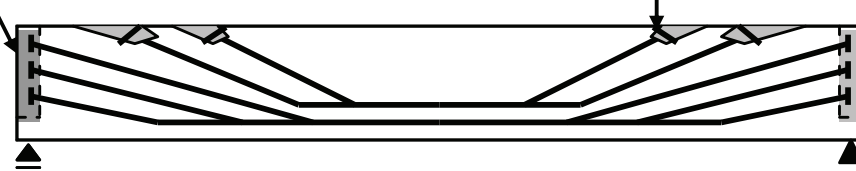
32



1993年以前

端部定着部の後埋め部

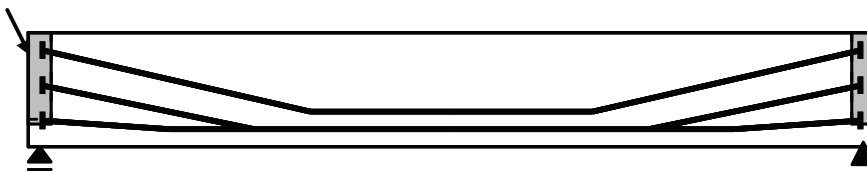
上縁定着部の切欠き部



マルチワイヤーケーブルを使用(12φ5, 12φ7など)

現在

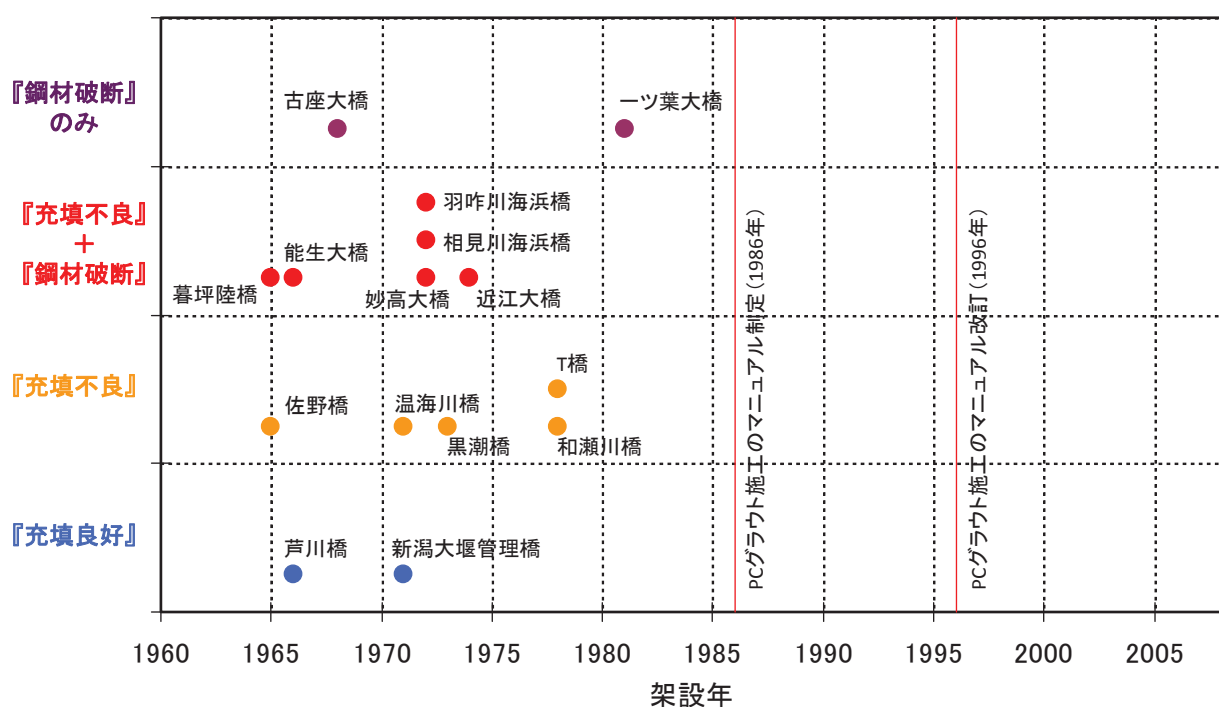
端部定着部の後埋め部



マルチストランドケーブルを使用(12S12.7, 12S15.2など)

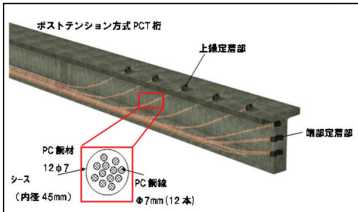
PCグラウトの充填状況

(技術相談、不具合橋梁、撤去橋梁)



グラウト不良がある場合

塩分の供給経路



初期症状



末期症状

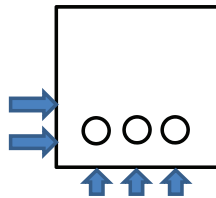


シース内からの塩分供給による内部での腐食進行 → 表面にひび割れが出にくい

→ 外観からの耐荷力評価が極めて困難

グラウト充填している場合

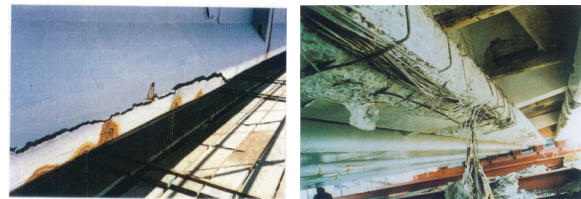
塩分の供給経路



初期症状



末期症状



コンクリート表面から供給される塩分により鋼材が腐食 → 表面にひび割れが発生

→ 外観からの耐荷力評価が可能

【PRISM1】RC床版の土砂化等に対する診断

背景・現状

- RC床版の土砂化やPC橋のグラウト未充填などは、外観から検知することが難しい一方、突如、床版の抜け落ちや主ケーブルの破断、横締めPC鋼棒の破断・突出に至るなどのリスクが存在。
- 特に床版の劣化による土砂化は、舗装下の変状及び促進要因の水の有無の確認が難しいことや、劣化現象が複合して進行することなどから、点検・診断や、適切なタイミングでの措置を行うことが難しい。

課題と目標

- 外観変状の特徴と劣化状態との相関を把握しにくい床版の土砂化やPCグラウトの未充填に対し、AI技術によって劣化要因の早期検知や、各種点検データや劣化状態との相関を把握。
- それにより、点検・診断の信頼性向上（内部劣化と相関の高い変状の抽出・点検での重点化）、劣化状態の早期発見（非破壊検査データからの読み取り技術の向上）、適切な対策の提案を実現。

施策の概要

現状の管理手法

○床版の土砂化は、輪荷重による疲労、水の浸入、材料劣化等の要因と、舗装のひび割れや床版下面の漏水跡など外観変状との相関が明確でなく、現状の目視点検では抜け落ち等のリスクが存在。

○床版の土砂化につながる劣化要因（水）の早期検知が困難であり、適切なタイミングでの的確な措置の実施が難しい。

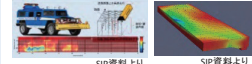


- 目視での把握が困難
- 潜在的な劣化進行により重大な損傷が発生する可能性

【SIP成果】

- 水平ひび割れ・砂利化・水の検出

- 床版の寿命評価技術



劣化した床版の損傷検知から寿命評価までを行う物理モデルを構築

【本体施策】

- 実橋梁や撤去桁を活用した変状把握技術の信頼性向上・劣化要因に関する基礎研究



劣化した床版の対策工法などハード技術を開発

残る技術的課題

- ・土砂化に至る前段階での劣化要因（水）の早期検知
- ・水の浸入から劣化に至るまでのメカニズムの解明
- ・劣化の前段階での適切な措置法の確立

【アドオン施策】

点検データに加え、非破壊試験結果なども対象としてAIによる相関分析を実施し、各種要因と劣化の相関を解明。措置の適性なども検証する。

- 水の早期検出・浸入経路特定技術の確立

- データマイニング・統計的アプローチによる

- 各種要因と劣化の相関解析技術の確立

- 早期検知を前提とした適切な措置法の確立

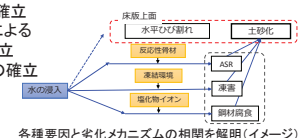
劣化促進要因をAIにより早期検知&劣化に至るまでの各種要因と劣化の相関をAIにより解明

達成したい管理手法

技術開発ニーズ

- 定期点検時に簡易な非破壊技術を用い、内部変状と相関の高い点検項目を重点的に把握し、劣化を早期に検出。（多様な情報を活用した総合的な診断）

- 予防保全の効果を最大限発揮できる、劣化初期に有効な対策の実施。



重点テーマとの整合性

- RC床版の土砂化箇所やグラウト未充填箇所等における水の早期検知や、劣化要因の特定により、適切な時期での予防保全が可能となり、インフラの長寿命化に寄与。

アドオン施策として申請する理由

- これまでに蓄積した、各種劣化現象に関する基礎研究や、点検結果に対する分析結果等のデータ・知見をAI技術によって統合することで、複雑な劣化事象に対する要因解明や有効な対策法の開発が促進され、点検・診断の信頼性が向上。

点検アシストシステム

- ①要点検部位への誘導・フォーカス
- ②画像等センサによるデータ採取
- ③採取データの分析
- ④前回点検データ等との比較

診断アシストシステム

- ①必要な詳細調査の指示
- ②損傷種類の特定
- ③損傷の進行度の推定
- ④要因の特定
- ⑤措置方法の提案(a.原因の除去方法、b.損傷の進行制御、c.補修工法、d.補修時期、危機管理要否・方法、e.効果確認方法)、
- ⑥損傷の総合判定と説明

データ構築

- ・3次元化
- ・CIMとの統合
- ...

39

ご清聴ありがとうございました

40

道路橋の支承に求められること

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



講演の構成

1. 背景
2. 支承の耐荷設計
3. 支承の耐久設計
4. 支承の性能確認試験と品質管理
5. 維持管理
6. まとめ



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



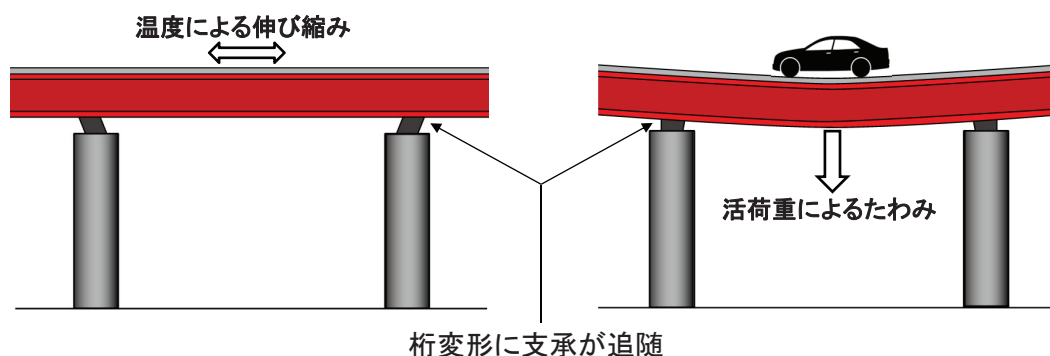
背景

支承とは？

支承(Bearing)

上部構造と下部構造との間に設置される部材で、上部構造の荷重を下部構造に伝達するための機構をもつ。

土木用語大辞典((公社)土木学会編)より



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

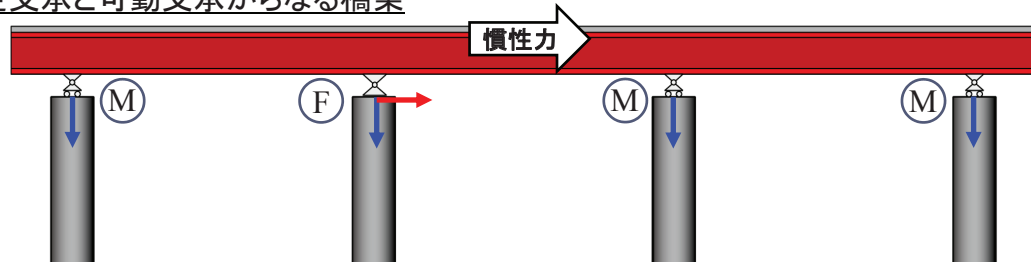


背景

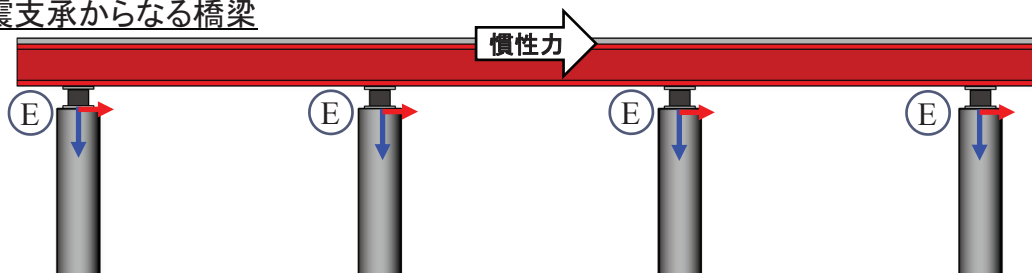
支承の重要性

地震時の応答

固定支承と可動支承からなる橋梁



免震支承からなる橋梁



支承条件により地震時の応答が異なる



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



背景

支承の歴史(明治～昭和)

1900 明治

1920 大正

1940 昭和

1950

1895: 初期のローラー支承(鋼ローラー, アンカーボルトなし): 阿武隈川橋梁(国鉄)

1923: 関東大震災
→ 輸入品ではなされていなかった地震への配慮

1926: 「道路橋構造細則案」
→ アンカーボルト, ピン, ローラー, コンクリート等の許容応力度の設定

1939: 「鋼道路橋設計製作示方書」
→ 支承に関して曲げ, せん断等の各応力度を規定

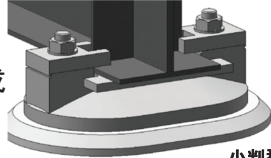
1955頃: BP・A支承の開発(より摩擦係数が低い支承の開発)

1958: 国鉄大阪環状線天王寺駅舎でパッド型ゴム支承(フランスより輸入)が使用される

小判型線支承の完成

小判型線支承

酒匂橋の落橋

1960

1963

1964

1970

1961: 国鉄東北本線鬼怒川橋梁
クロロプレン系積層ゴム支承が使用

1963: 「鋼道路橋設計示方書」「鋼道路橋製作示方書」

1963以降: BP・A(日本製), BP・B(輸入品)支承が
高速道路などで使用され始める

1964: 新潟地震
→ 液状化による被害

1972: 「道路橋耐震設計指針」
→ 支承の耐震性能明確化(移動制限装置, 縁端距離, けた間連結装置, 落橋防止装置等を規定)

1972: 建設省近畿地方整備局 宿院高架橋
地震時水平力分散型ゴム支承が採用(国内初)

1973: 「道路橋支承便覧」
「道路橋支承標準設計(ゴム支承・すべり支承編)」
「道路橋支承標準設計(ピン支承・ころがり支承編)」

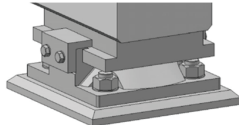
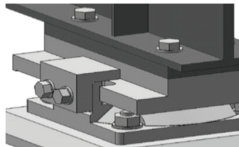
鬼怒川橋梁(ゴム支承)

昭和大桥の落橋

BP・A支承

BP・B支承

宿院高架橋
(大阪府堺市)




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



背景

支承の被害事例

1995年兵庫県南部地震(阪神高速 神戸線)

BP支承



サイドブロック取付けボルトの損傷



出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

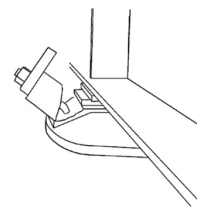
上沓ストッパー部の破損

線支承

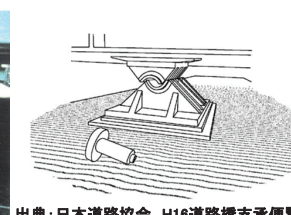
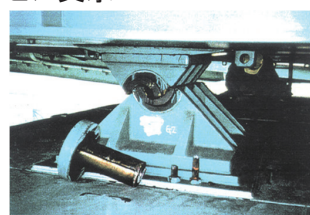


出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

移動制限装置(下沓の凸部)の破断



ピン支承



出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

ピン中央部のくびれ部の破断



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

背景

支承の被害事例(2016年熊本地震)

木山川橋

ピン支承



上沓の損傷



橋座コンクリートの損傷

大切畑大橋

ゴム支承

支承取付け
ボルトの損傷



ゴム支承本体
の損傷



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

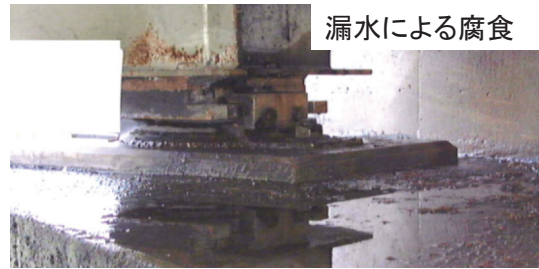
背景

劣化事例

劣悪な環境にある支承の劣化事例



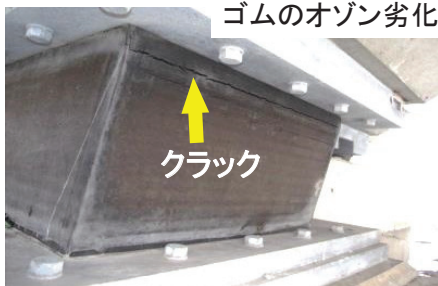
鋼材の劣化



漏水による腐食

出典:国総研資料No.748
道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版)

その他の劣化



ゴムのオゾン劣化

クラック



ゴムのオゾン劣化(パット型ゴム支承)

クラック

出典:ゴム支承協会

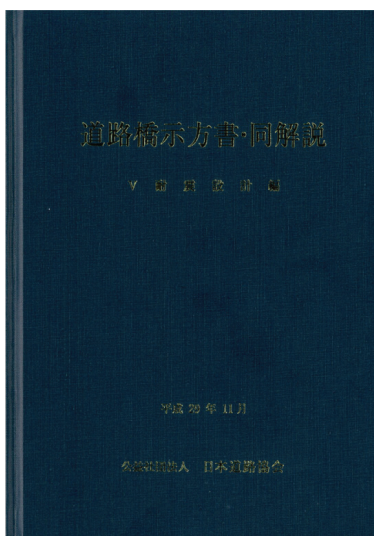


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

道路橋示方書(H29.7改定)



- I 「生産性革命元年」～ 多様な構造の耐荷性能『評価』
 - II 「長寿命化」～ 点検, 挽回を織り込んだ耐久性能『評価』
- ⇒ 自由度と性能の説明性の向上・標準化・明確化

①橋の目標期間を新たに設定

⇒ 設計供用期間**100年**を規定,性能目標が明確化

②部分係数設計法の導入

⇒ 100年の間に橋が遭遇する荷重組合せの再評価

⇒ 新しい構造部材, 新しい材料の利用の提案に対して,データに基づき抵抗の信頼性を評価

③限界状態設計法の導入

⇒ 多様な形式,構造,材料に対する道路橋への要求性能として,
限界状態の評価法が明らかな技術を使用することを明確化

⇒ 「診断」できる構造

④橋の耐久性能と設計方針を明確に規定

⇒ 維持管理方針と一体の設計を規定

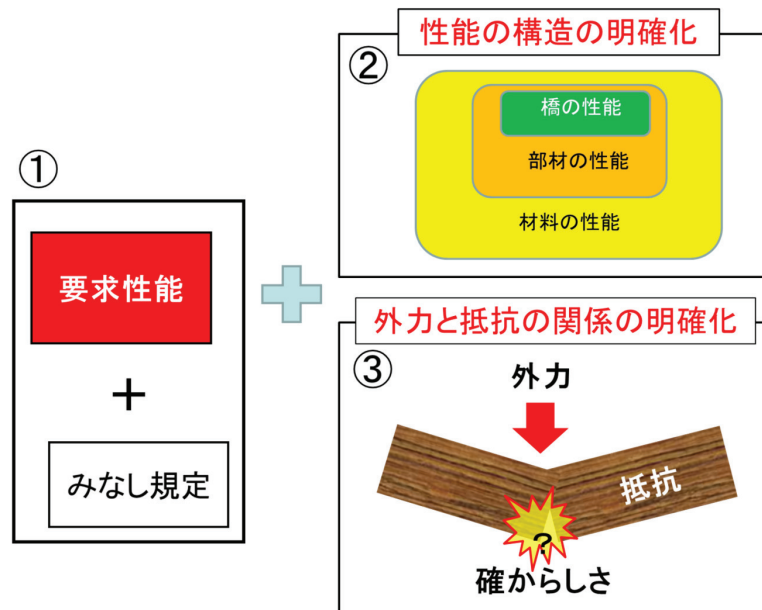


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

性能規定型基準 ①～③の全てを兼ね備えたことが、
改定道示最大の特徴

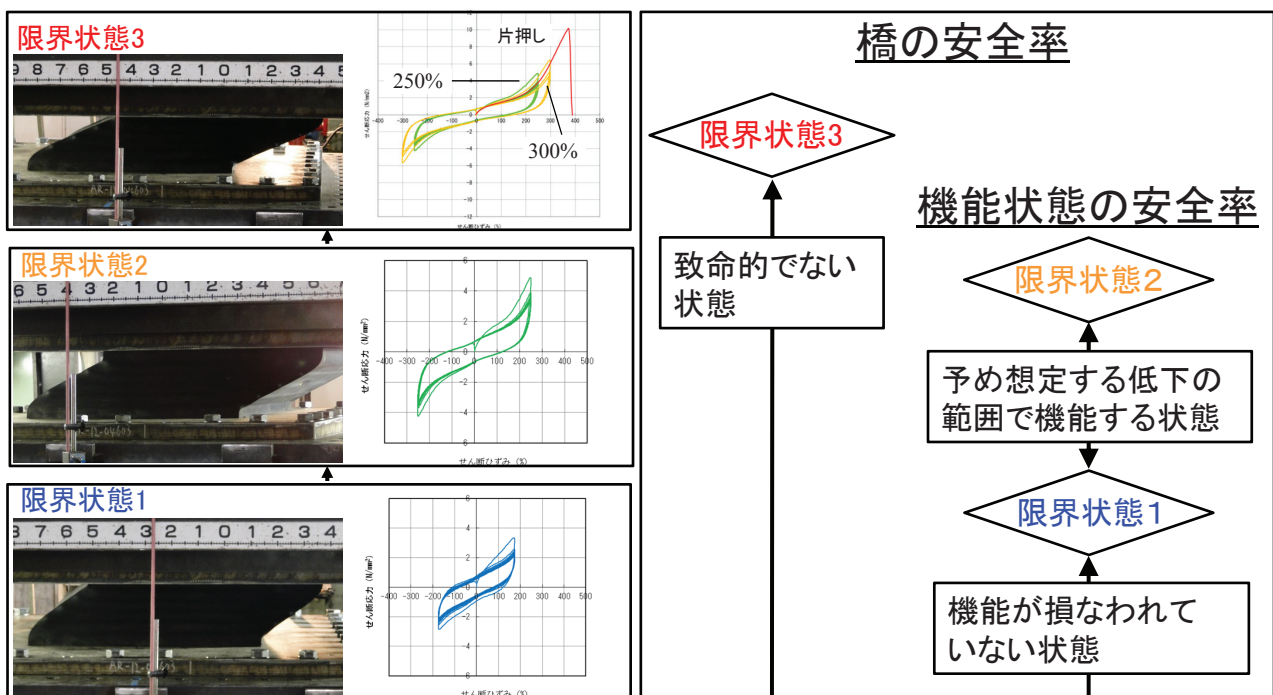


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

限界状態設計法



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



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

限界状態設計法

パフォーマンスマトリクス

(b) 橋の耐荷性能2

状態 (2.2)	主として機能面からの橋の状態		構造安全面からの橋の状態
	橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない状態	部分的に荷重を支持する能力の低下が生じているが、橋としてあらかじめ想定する荷重を支持する能力の範囲である状態	致命的な状態でない
状況 (2.1)			
永続作用や変動作用が支配的な状況	状態を所要の信頼性で実現する。		所要の安全性を確保する。
偶発作用が支配的な状況		状態を所要の信頼性で実現する。	所要の安全性を確保する。



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



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

部分係数法

作用効果

$$\sum S_i (\gamma_{pi} \gamma_{qi} P_i)$$

100年に生じる状況を模擬

抵抗

$$\xi_1 \xi_2 \Phi_R R(f_c, \Delta_c)$$

安全余裕を部分化し、部分の改善を反映

ξ_1

ξ_2

Φ_R

調査・解析の質 部材非弾性 材料・耐荷力
挙動特性 式ばらつき

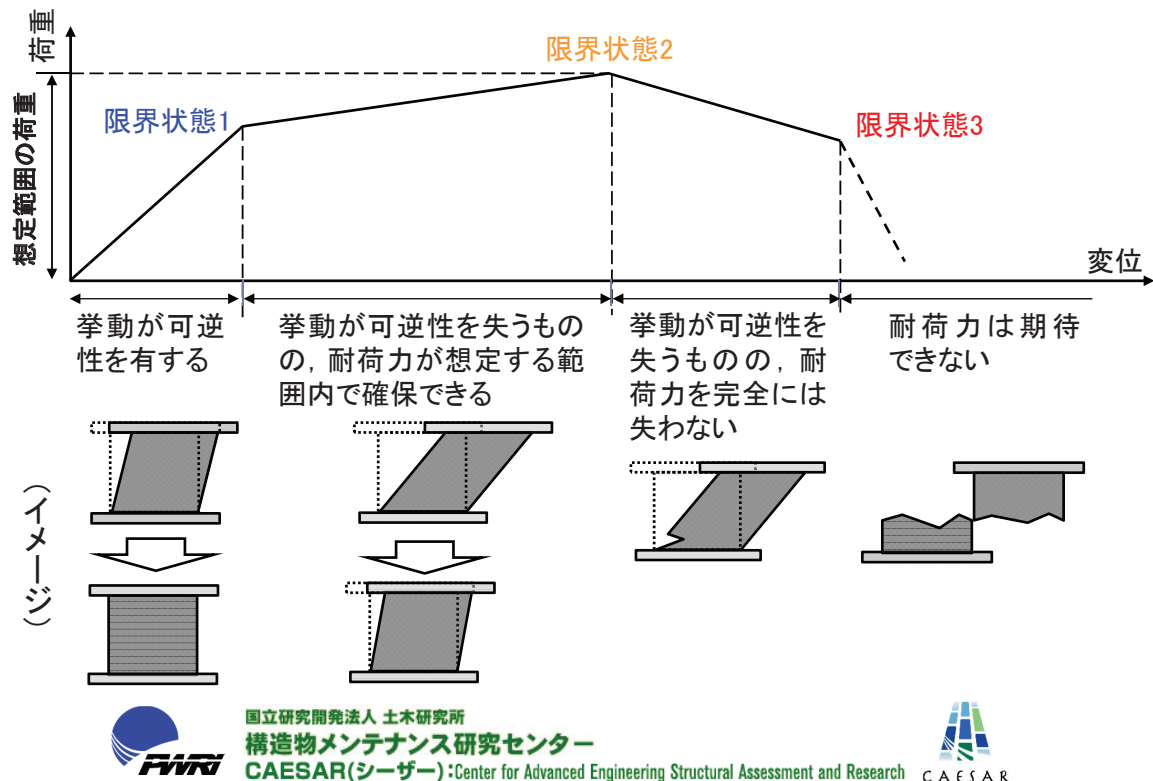


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の耐荷設計

支承の限界状態の定義(道路橋示方書Ⅰ 共通編)



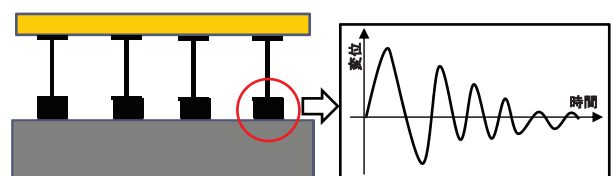
支承の耐荷設計

支承に求められる機能

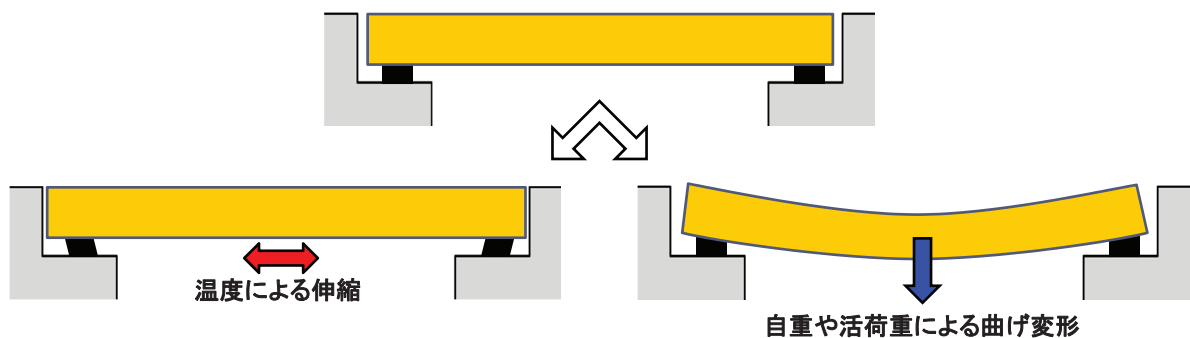
力の伝達機能



減衰機能



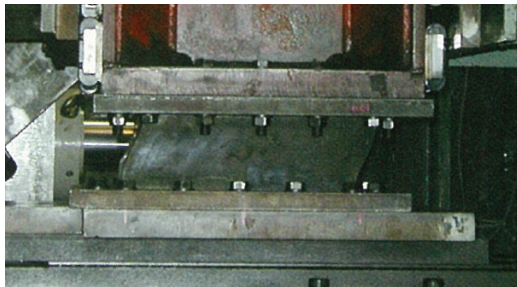
変位追従機能



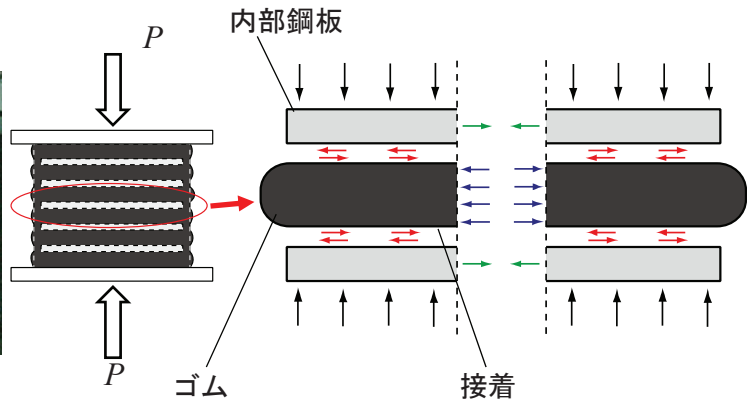
支承の耐荷設計

積層ゴム支承の鉛直支持の限界状態

ゴム支承の圧縮限界試験



参考: ゴム支承協会, 道路橋支承便覧ゴム支承ガイドブック



限界状態1	内部鋼板が降伏しない ゴム支承が座屈しない
限界状態3	内部鋼板が破断しない ゴム支承が座屈しない



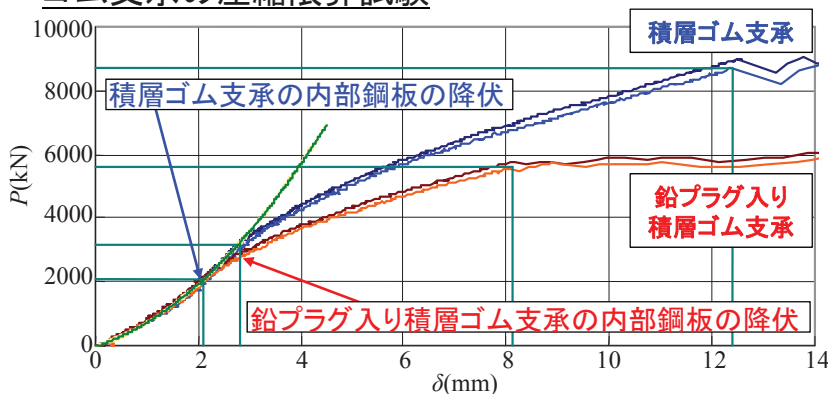
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



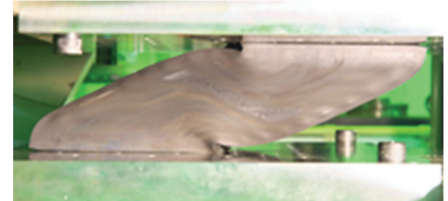
支承の耐荷設計

積層ゴム支承の鉛直支持の限界状態

ゴム支承の圧縮限界試験



ゴム支承の座屈

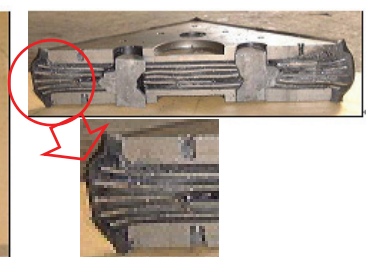


出典: ゴム支承協会

積層ゴム支承の圧縮破壊



鉛プラグ入り積層ゴム支承の圧縮破壊



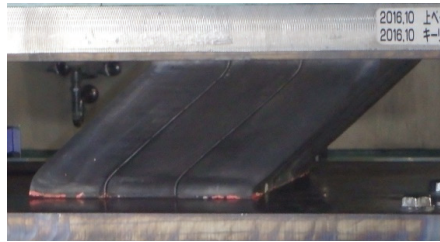
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧
CAESAR

支承の耐荷設計

積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)



限界状態1	挙動が可逆性を有する → せん断剛性が繰返し载荷に対して安定している
限界状態2	エネルギー吸収能が安定して確保できる → 等価減衰定数が設計値以上
限界状態3	耐力力を失わない → 繰返し载荷に対して破断しない



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

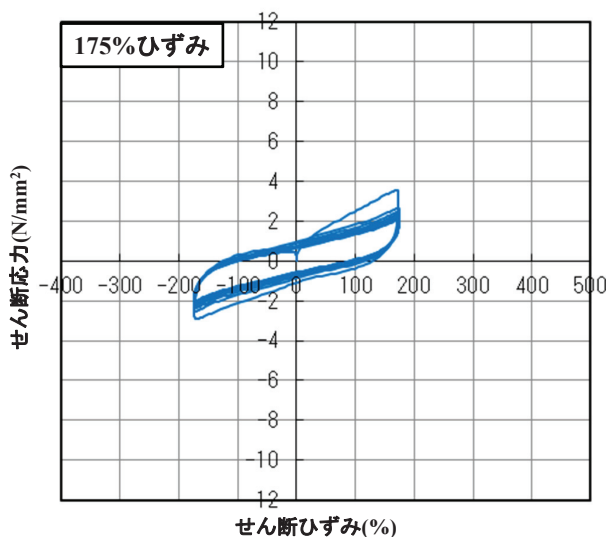


支承の耐荷設計

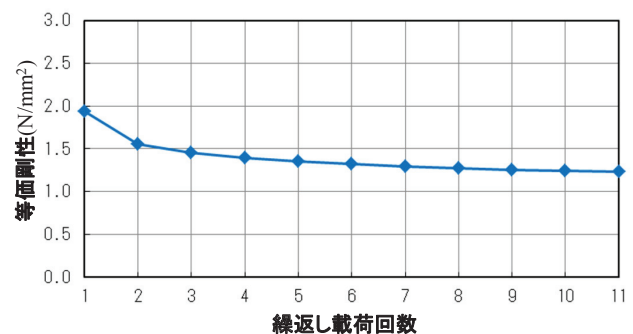
積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)

175%のせん断ひずみ-せん断応力の関係



繰返し载荷回数-等価剛性の関係



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

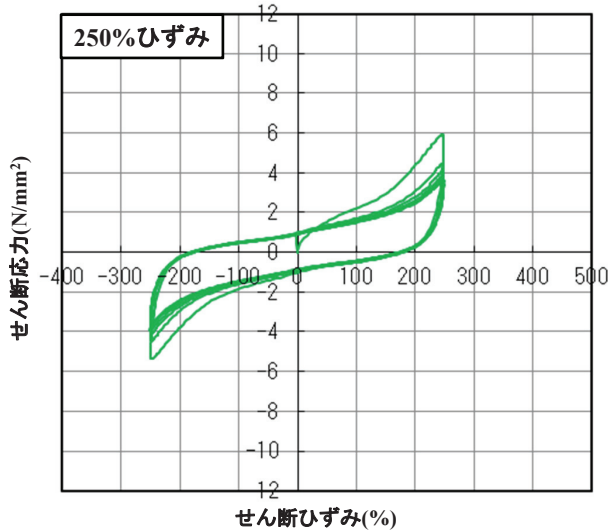


支承の耐荷設計

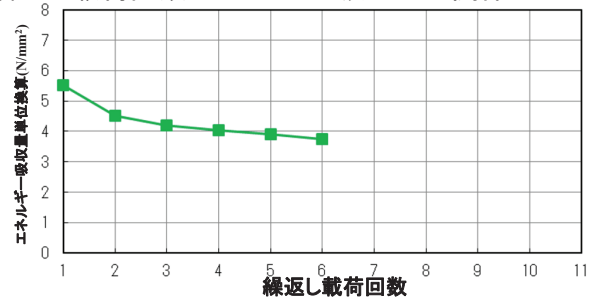
積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)

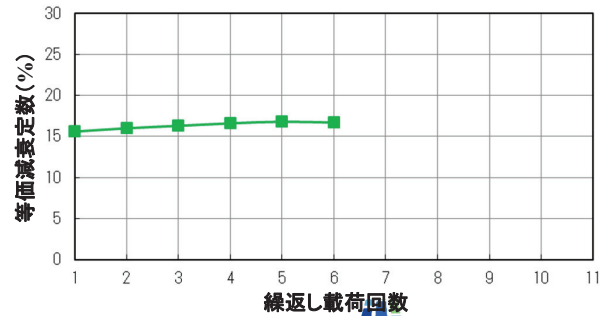
250%のせん断ひずみ-せん断応力の関係



繰返し载荷回数-エネルギー吸収量の関係



繰返し载荷回数-等価減衰定数の関係



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

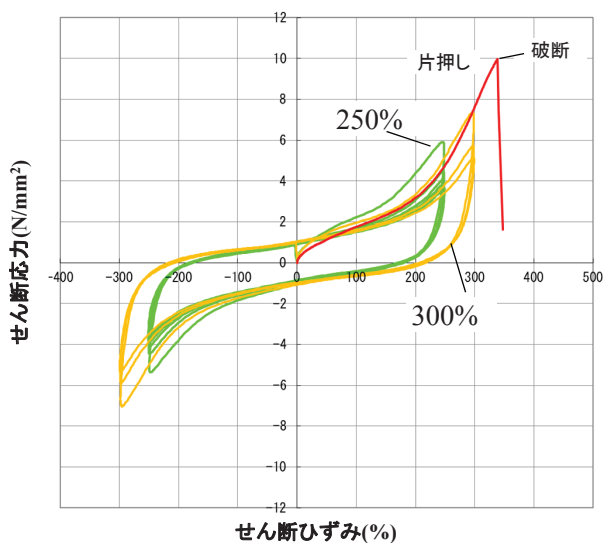


支承の耐荷設計

積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)

せん断ひずみ-せん断応力の関係



300%ひずみのゴム支承の状況



破断時のゴム支承の状況



国立研究開発法人 土木研究所

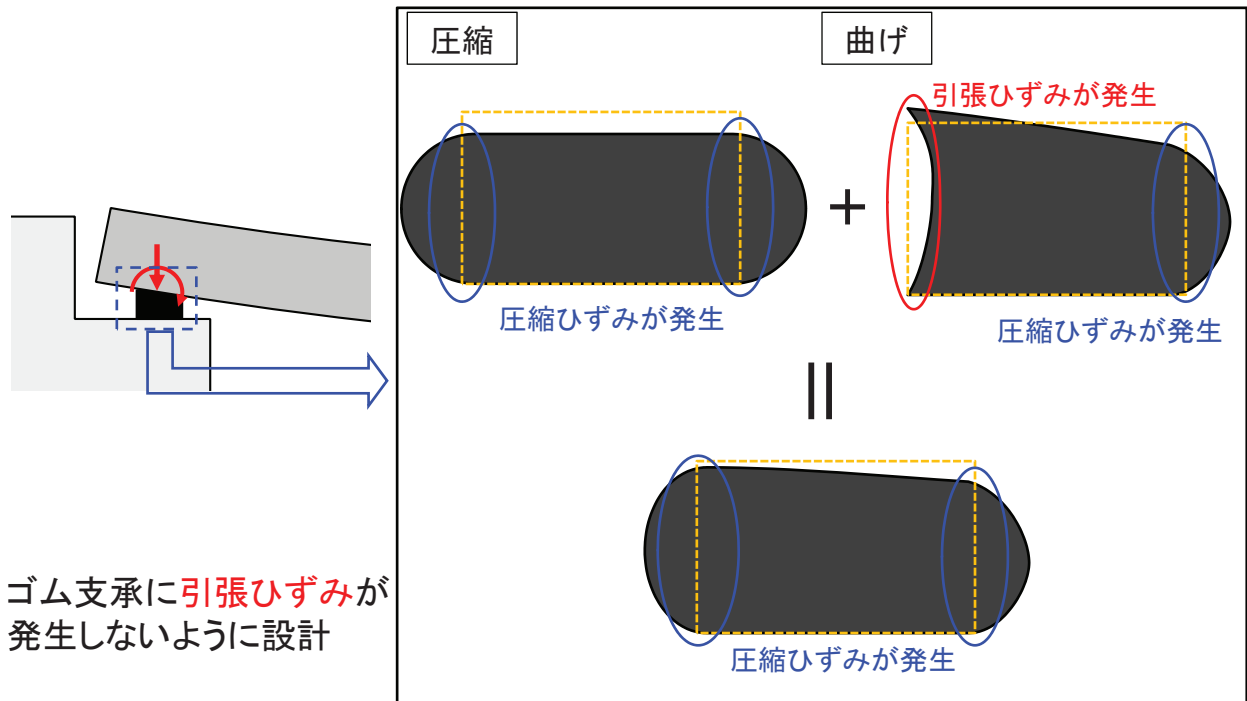
構造物メンテナンス研究センター

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



支承の耐荷設計

積層ゴム支承の変位追随(回転)の限界状態

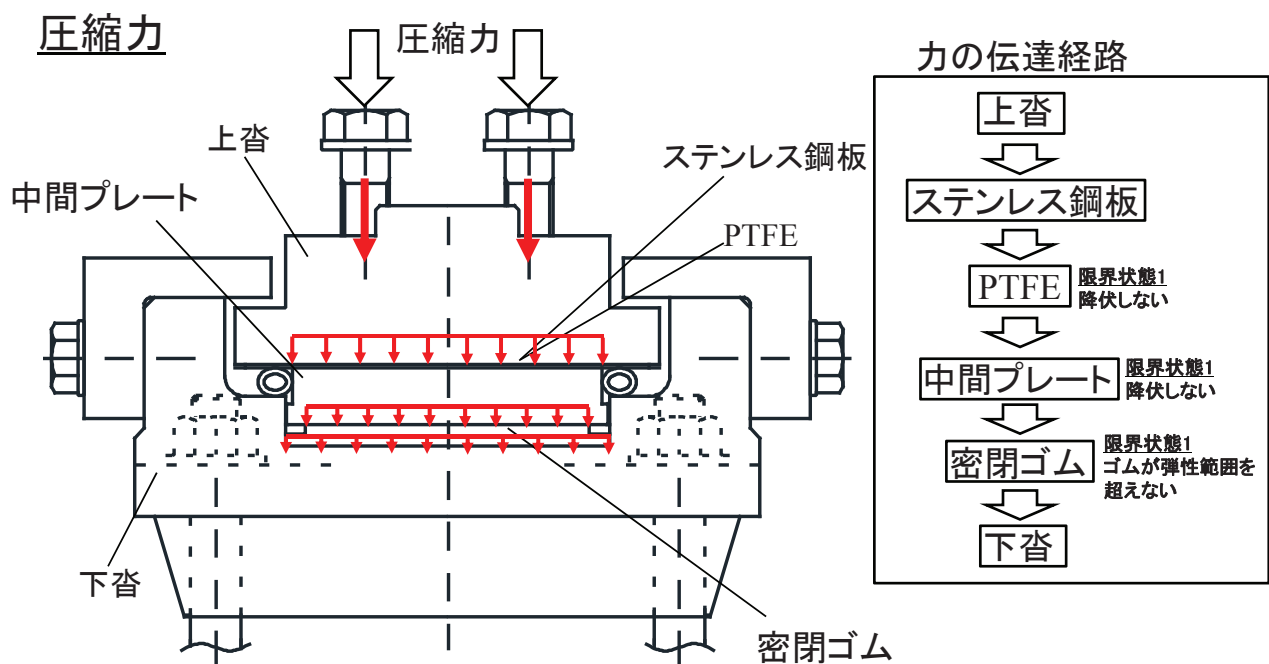


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の鉛直支持の限界状態



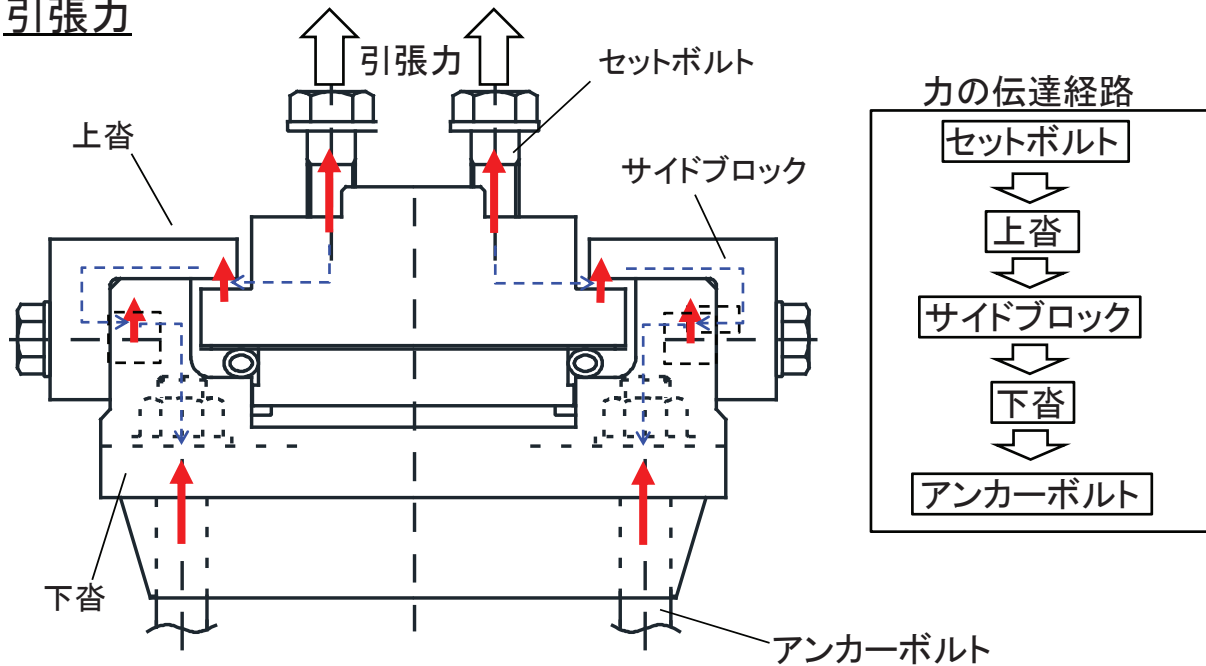
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の鉛直支持の限界状態

引張力



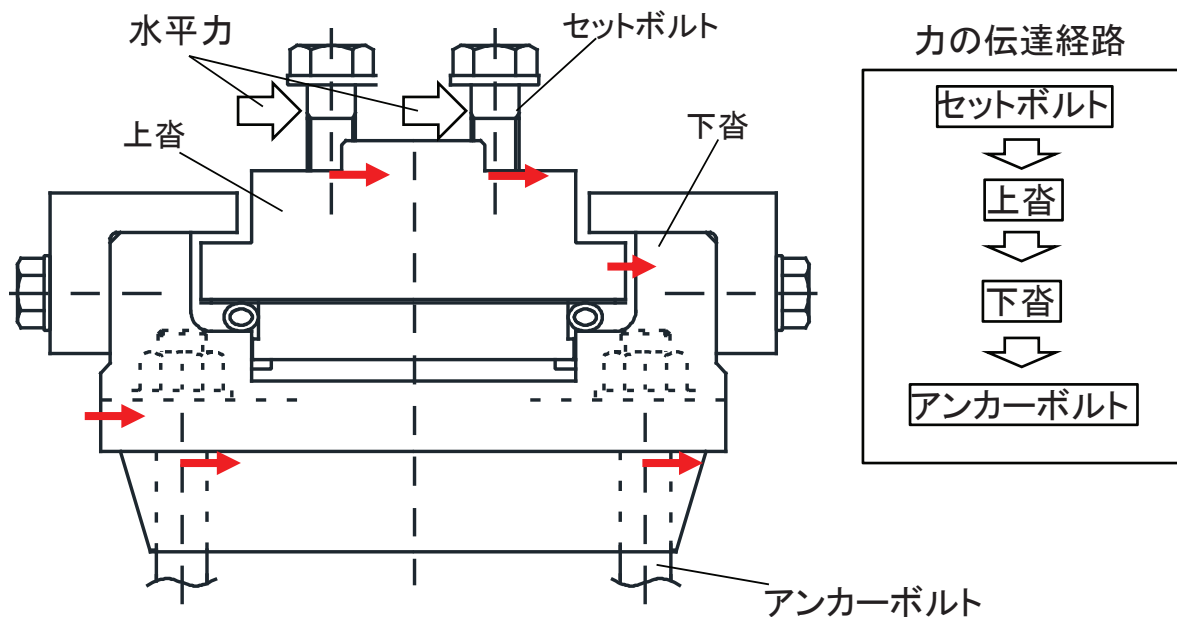
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の水平支持の限界状態

橋軸直角方向



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

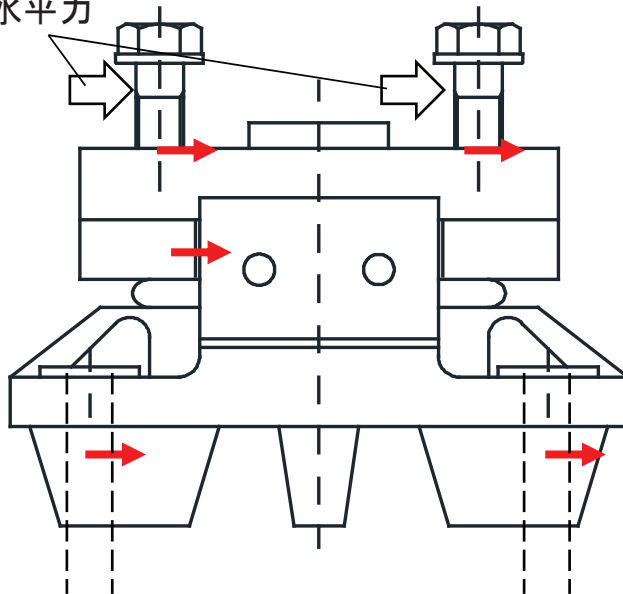


支承の耐荷設計

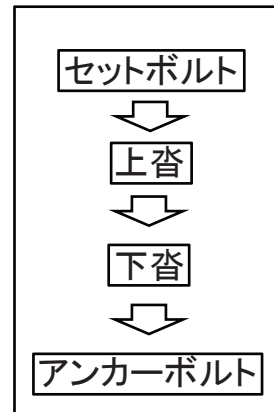
鋼製支承(BP・B)の水平支持の限界状態

橋軸方向

水平力



力の伝達経路



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



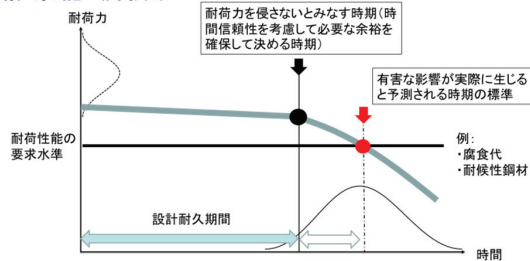
支承の耐久設計

耐久性確保の方法1, 2, 3

道路橋示方書 I 共通編

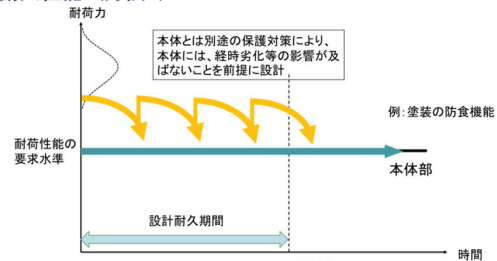
6.2 耐久性確保の方法と照査

耐久性性能 (方法1)



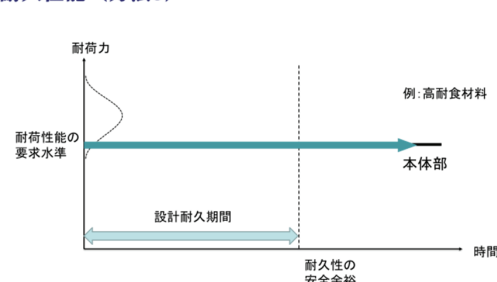
耐荷性能に考慮している部材の一部に、経時劣化等の影響による変化を許容する。
(ただし、有害な影響がでるまで実質の耐荷力も低下する場合)

耐久性性能 (方法2)



耐荷性能に考慮している部材の一部に、経時劣化等の影響による変化を許容する。
(ただし、有害な影響がでるまで実質の耐荷力も低下する場合)

耐久性性能 (方法3)



耐荷性能に考慮している部材そのものを、目標期間内では経時劣化等の影響を無視できる材料等による

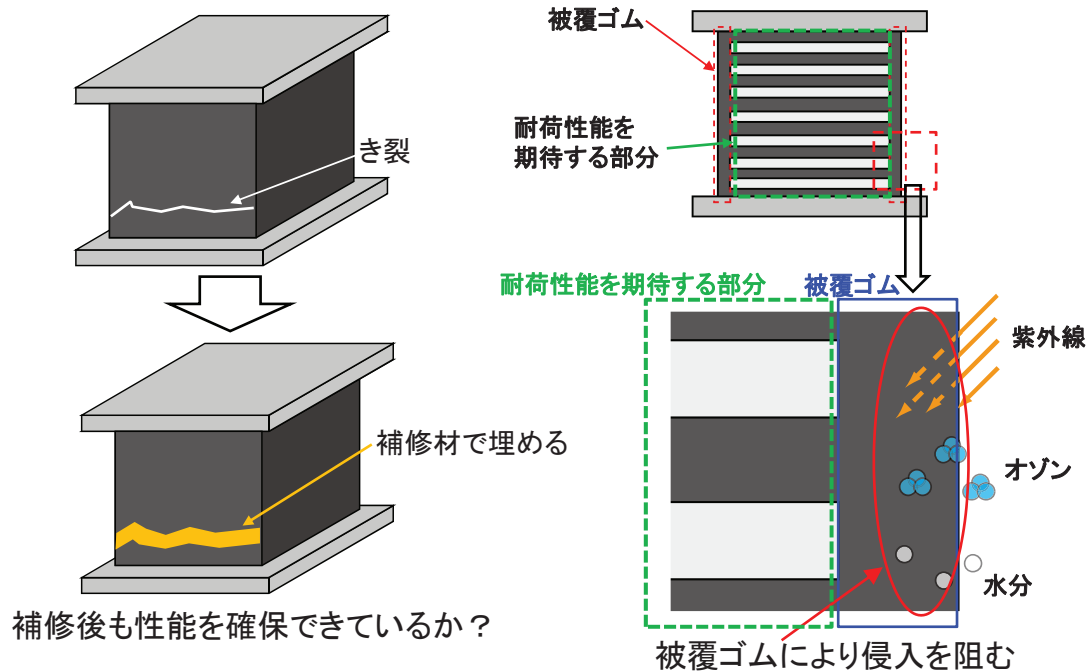


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

CAESAR

支承の耐久設計

積層ゴム支承の耐久性確保の考え方

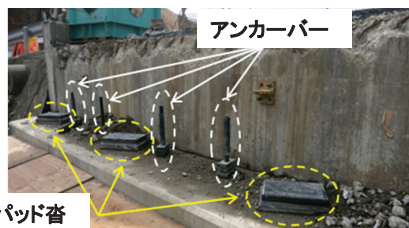


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の耐久設計

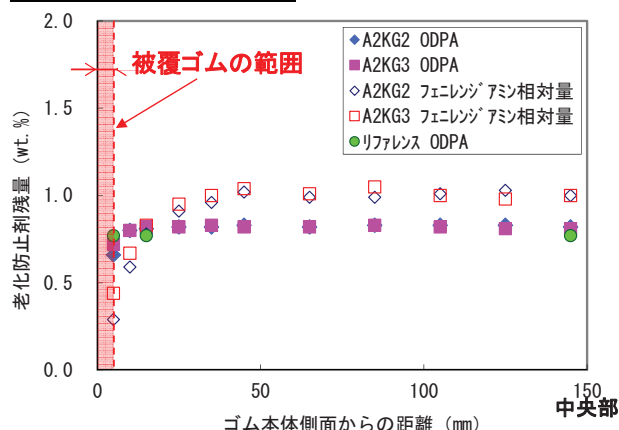
積層ゴム支承の環境劣化の検証方法



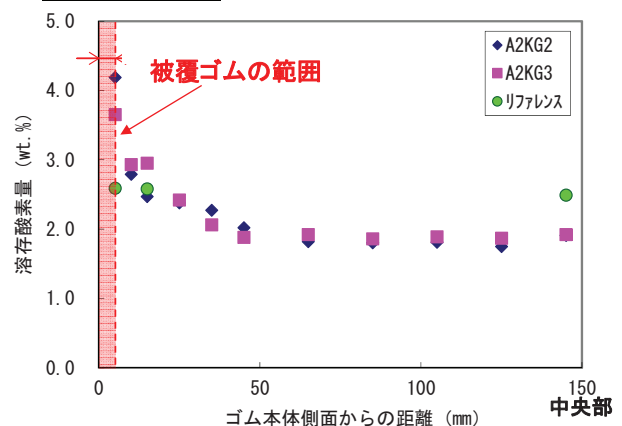
供用開始から26年経過したパッド型ゴム支承(300×300, t=81)
海岸線から220mの塩害環境下に位置する橋梁

オゾン劣化: 老化防止剤残量試験
酸化劣化: 溶存酸素量試験

老化防止剤残存量



溶存酸素量



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

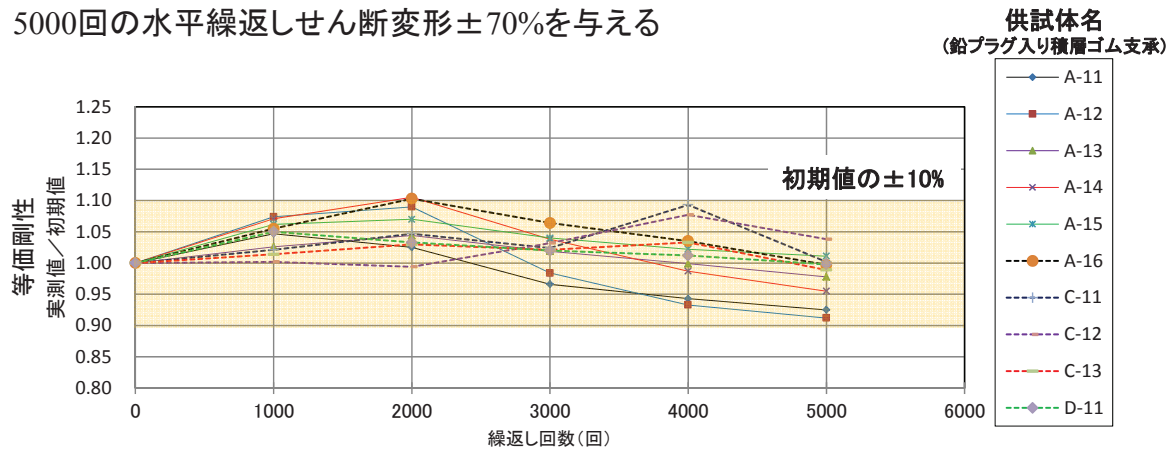


支承の耐久設計

積層ゴム支承の疲労耐久性の検証方法

低速せん断繰返し試験

圧縮応力度 6.0N/mm^2 に相当する荷重を載荷した状態で、
5000回の水平繰返しせん断変形 $\pm 70\%$ を与える



やや剛性が低くなる傾向であるが、
初期値に対して $\pm 10\%$ 程度の変化率となっている



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



支承の耐久設計

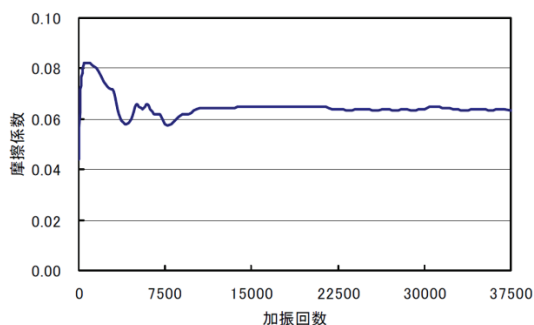
鋼製支承の耐久性確保の考え方

鋼製支承の耐久性を確保する上で考える必要のある要因

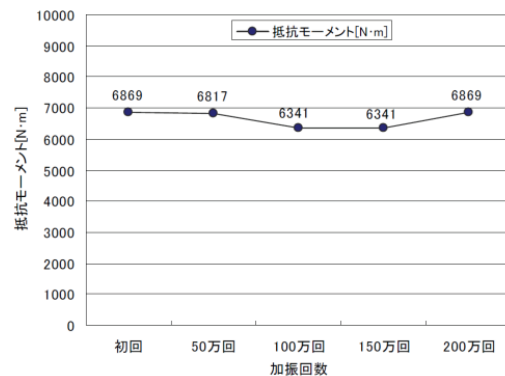
・防錆 ・摩耗 ・疲労

BP・B支承の耐久性試験

すべり耐久性試験



回転耐久性試験



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



支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の性能確認の考え方



支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の材料試験

ゴム材料

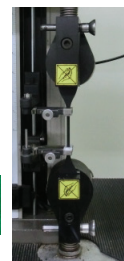
- 化学成分
各成分の測定試験
- 物理的性質
基本特性試験
老化・耐久性試験
- 耐オゾン性
標準、低温状態の耐オゾン性試験

材料引張試験

試験前



試験後



鋼材、鉛の材質

寸法、機械的性質、化学成分等を確認

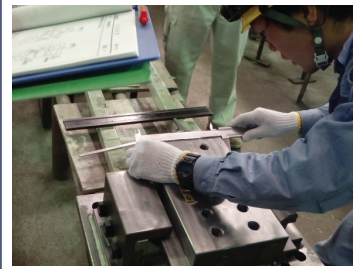
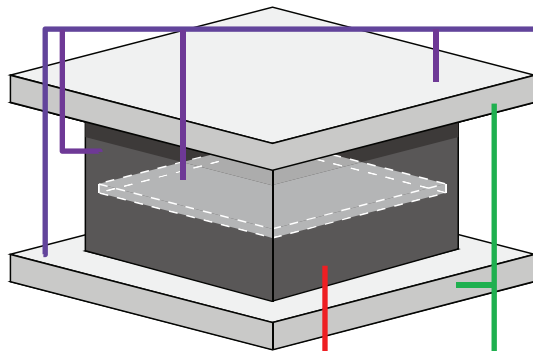
ゴムと鋼材の接着性

ゴムと鋼板の接着強さを試験

支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の品質確認試験(出荷品)

寸法, 外観検査



- ・内部鋼板寸法
- ・鋼部材の寸法
- ・ゴム支承本体の寸法
- ・内部鋼板位置
- ・組立完成品の寸法
- ・外観異常の有無

力学的特性試験

- ・せん断剛性, 等価剛性
- ・圧縮変位量 ・等価減衰定数



防錆, 防食試験

- ・めっき付着量(膜厚)
- ・塗装塗膜厚



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



支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の特性検証試験(供試体)

耐荷性能

せん断特性
(限界状態を確認するための試験)

せん断特性の各種依存性
(補正値を出すための試験)

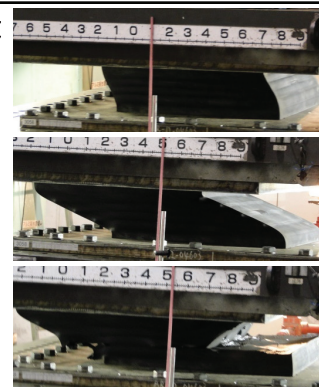
- ・温度依存性
- ・周期依存性
- ・面圧依存性

恒温槽で温度を
調整している支承

出典: 今井ら, 寒冷地における橋梁用ゴム
支承の性能評価実験, 平成18年度土
木学会北海道支部論文報告集, 第63号



せん断載荷試験



耐久性能

繰返し載荷に対して, 性能が変わらないことを確認
(せん断剛性, 等価剛性, 等価減衰定数)

繰返し載荷試験

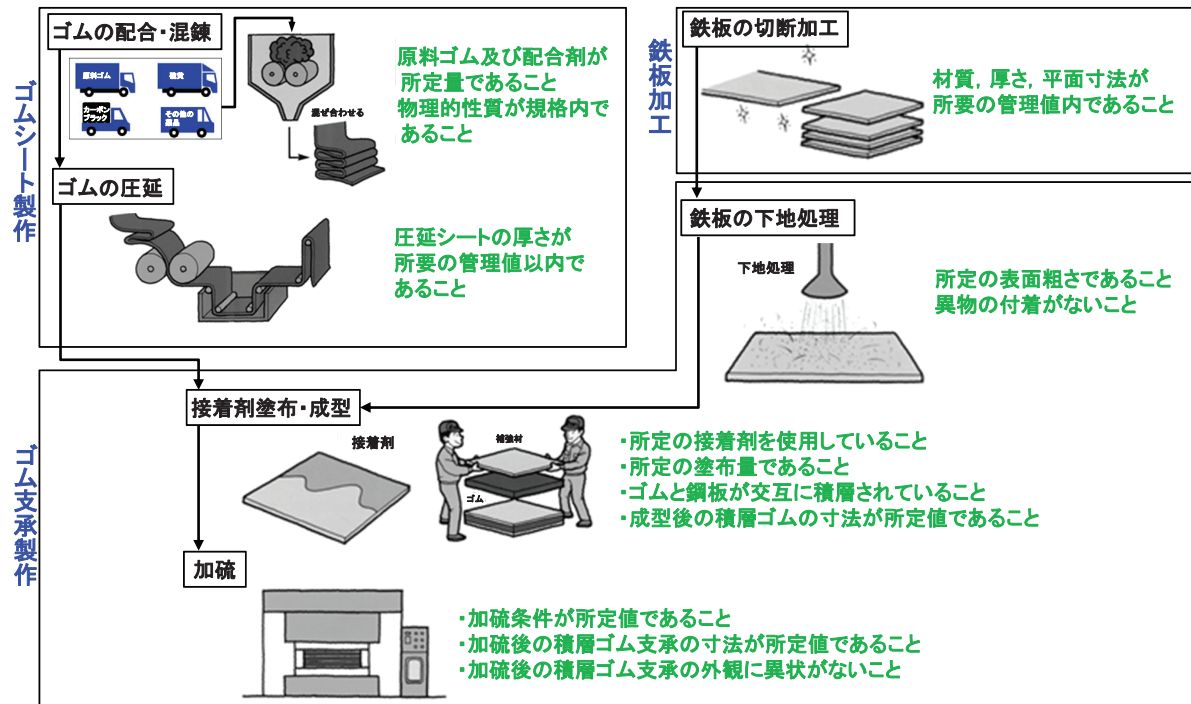


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の製造プロセス検証



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

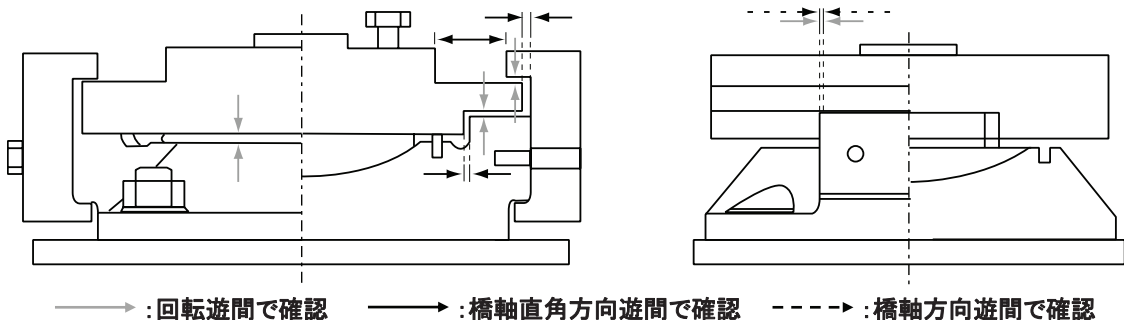


支承の性能確認試験と品質管理

鋼製支承(BP・B)の製造プロセス検証

部材間の遊間長

各支承タイプごとの特徴を考慮し、その管理記録を確認



鋼製部材を溶接で接合

検査の方法、頻度等、適切な管理を実施

ボルト等による接合

所定の強度等が発揮される締め付け方がなされていること

防せい・防食

・めっき付着量(膜厚) ・塗装塗膜厚

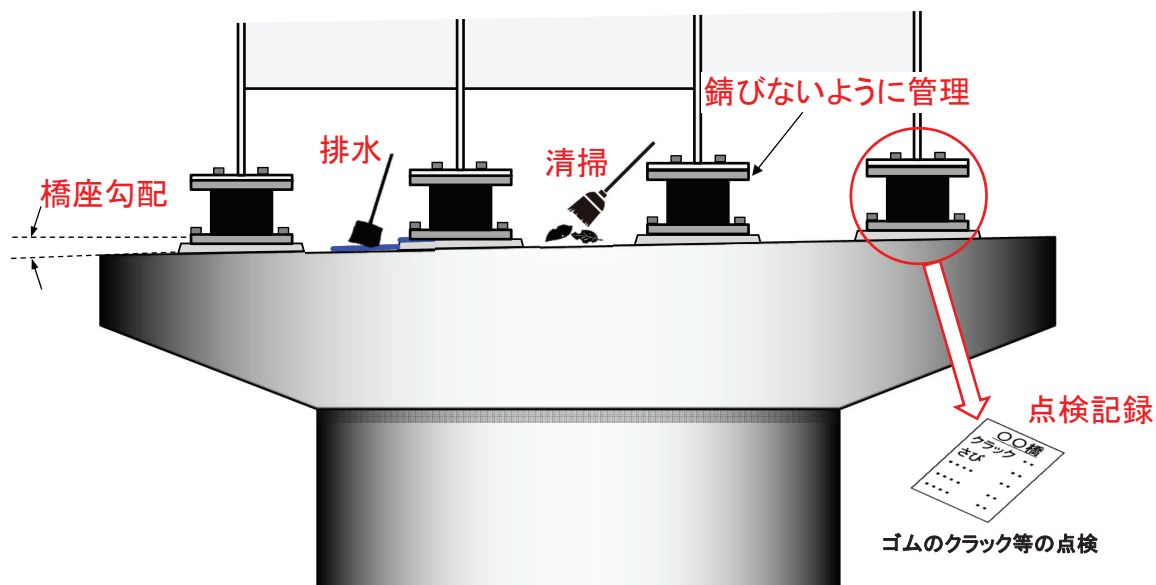


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



維持管理

支承の設計の前提とするべき維持管理



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



維持管理

支承の点検が容易となる工夫

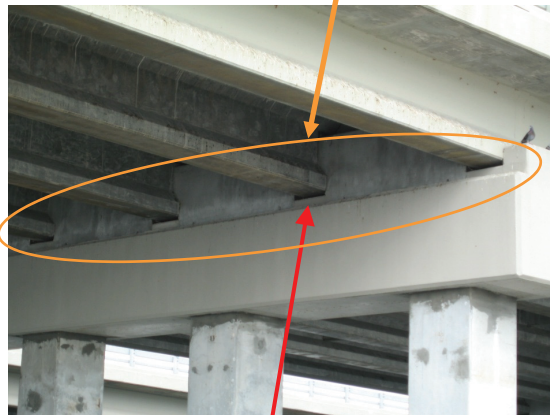
点検が容易なのは？

支承周りに空間が存在



カバー(取り外し可能)
→中の状況を知ることが可能

支承周りに空間が存在しない



支承が見えない
→中の状況を知ることが困難



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



維持管理

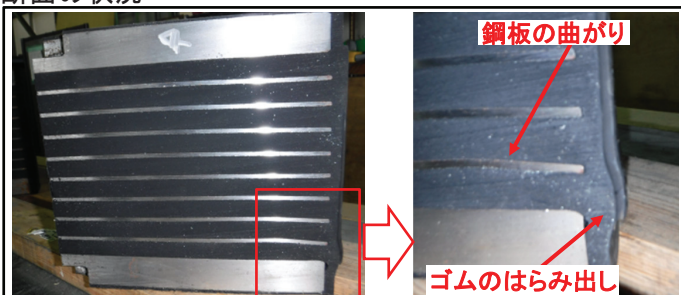
支承の点検方法

熊本地震で被害を受けた支承(扇の坂橋)

地震により変形した支承(A1G2)

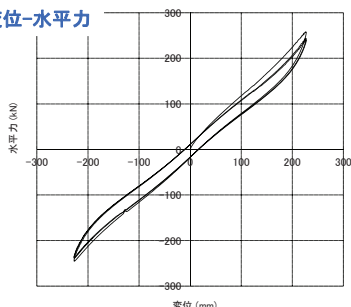


断面の状況

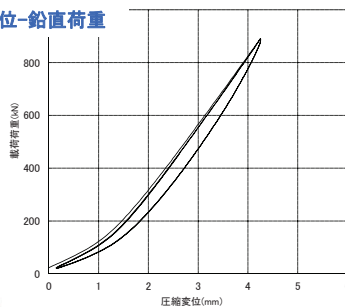


水平載荷試験および鉛直載荷試験結果

水平変位-水平力



鉛直変位-鉛直荷重



外観で変状がみられても、
性能は変わらない



国土交通省 国土技術政策センター

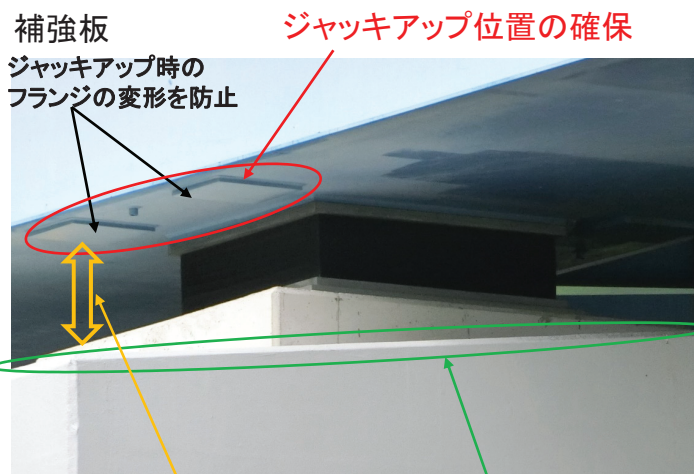
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



CAESAR

支承の交換を容易にする工夫

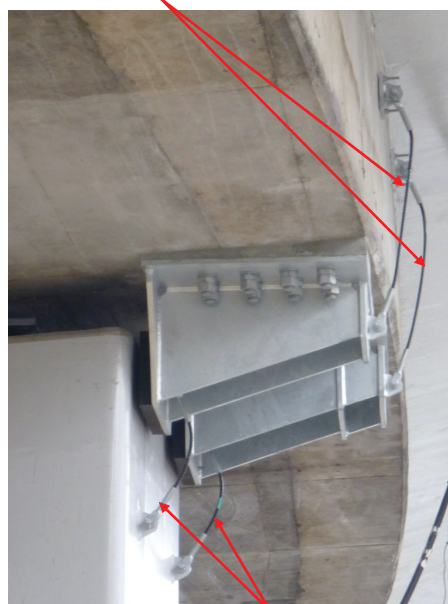
第3者被害を防止する工夫



ジャッキを据え付ける
空間の確保

十分な
作業スペースの確保

落下防止用のケーブル



落下防止用のケーブル



国土交通省 国土技術政策センター
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

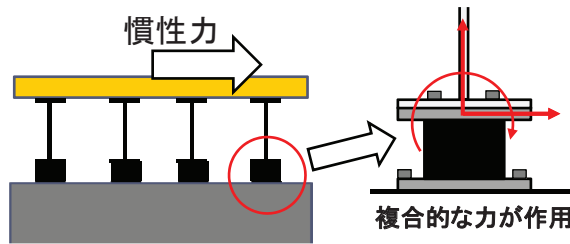


CAESAR

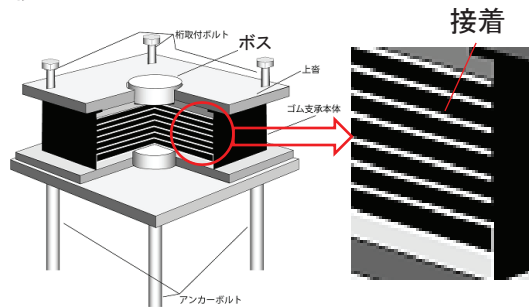
まとめ

今後の研究の必要性

- ・支承部に作用する力の算出方法



- ・接着性能の評価



- ・耐久性試験方法
- ・新材料, 新構造の性能評価試験方法



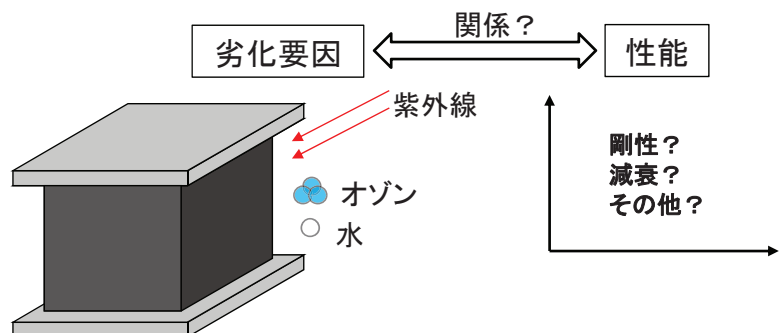
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



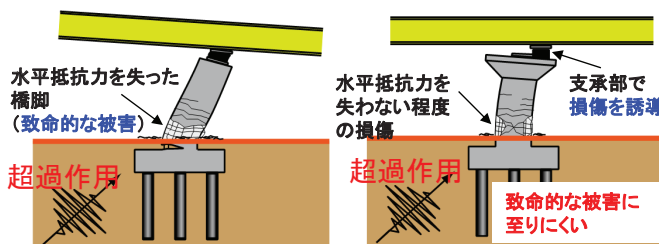
まとめ

今後の研究の必要性

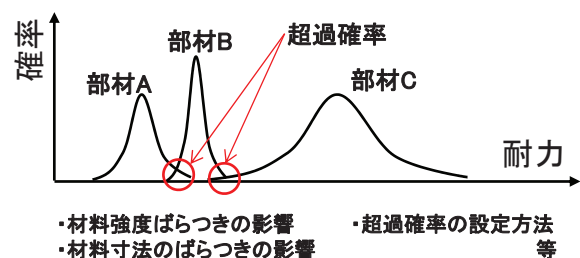
- ・残存性能の評価方法
- ・劣化要因と性能の関係



- ・損傷制御の必要性



- ・耐力階層化方法



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



まとめ

参考文献

- ・ (社)日本道路協会:道路橋支承便覧, 2004.
- ・ 道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版), 国総研資料第748号, 2013.
- ・ (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2017.
- ・ 井上崇雅, 青木康素, 星隈順一:長期間供用されたパッド型ゴム支承の特性評価, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.413-418, 2016.
- ・ 土木学会:道路橋支承部の点検・診断・維持管理技術, 2016.
- ・ 高野真, 大住道生:地震により残留変形が生じたゴム支承の残存性能に関する検討, 第20回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 171-176, 2017.
- ・ 高野真, 大住道生:地震により残留変形が生じたゴム支承の状態変化が力学特性に及ぼす影響, 第21回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 97-102, 2018.
- ・ 1978年6月12日宮城県沖地震被害調査概報, 土木研究所資料第1422号, 1978.
- ・ 平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告, 国総研資料第967号, 土研資料第4359号
- ・ 大住道生・西弘明・中尾尚史:超過作用に対する橋の損傷シナリオをデザインする新たな考え方, 土木技術資料, 60-4, pp.12-15, 2018.
- ・ 中尾尚史・森屋圭浩・大住道生・星隈順一:津波を受ける橋の機能回復力向上のための技術開発, 土木技術資料, 59-6, pp.40-43, 2017.



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