

荒廃する日本としないための 道路管理

独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ長 吉岡 淳



1. 道路橋ストックの現状と課題
2. 点検と調査
3. 橋梁のアセットマネジメント
4. 技術相談に見る損傷の実態
5. 荒廃する日本としないために
(CAESARの活動概要)

1. 道路橋ストックの現状と課題



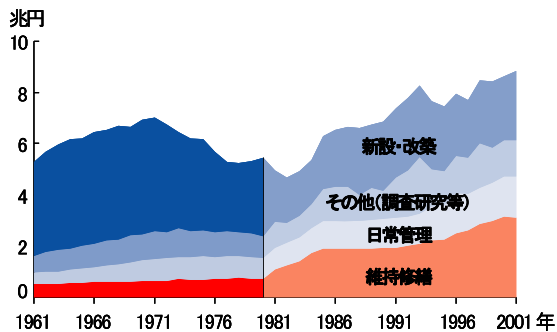
木曾川大橋
(国道23号、1963)

本荘大橋
(国道7号、1966)



1980年代の「荒廃するアメリカ」

- 1980年代のアメリカでは、1930年代のニューディール政策により大量に建設された道路構造物の老朽化に対応できず、「荒廃するアメリカ」と呼ばれる道路ストックの荒廃を招いた。
- 1970年代半ばから1980年代の初めにかけて、二度にわたる石油危機の中、経済成長率が鈍化し、アメリカでは停滞する経済状況下であった。



出典: Federal Highway Administration HP



荒廃するアメリカ(生活への影響)

ブルックリン橋のケーブル破断(1981)

1981年6月、ブルックリン橋のケーブルが突然破断。通行していた日本人カメラマンに当たり死亡。



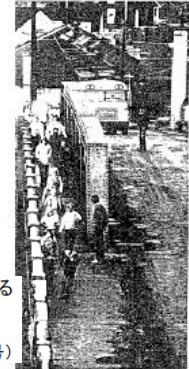
ブルックリン橋(全景:1980年代当時)
出典:Library of Congress, Historic American Engineering Record



破断したケーブルにより破損した歩道部
出典:New York Times (1984年10月8日)

スクールバスを降りて橋を渡る学童

1982年の新学期、全米で、スクールバスで通学する5千人~1万人の学童が、橋の手前でバスを降り、歩いて橋を渡る。

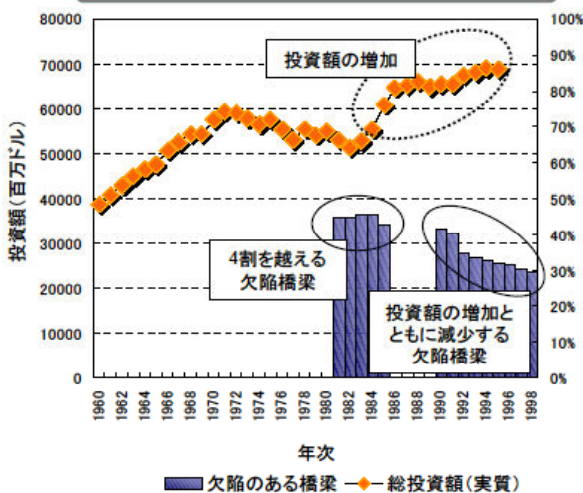


スクールバスを降りて橋を渡る生徒達(ペンシルバニア州)
出典:TIME(1981年4月27号)

「荒廃するアメリカ」の克服

- 1983年以降、道路の機能の改善を図るため、停滞する経済の中で、税率を引き上げることによって財源を確保し、道路投資額を拡充した。
- 道路投資の増額とともに道路ストックの改善がなされ、ほぼ同時期の1980年代半ば頃からアメリカ経済も回復傾向を示した。

減少する欠陥橋梁



(出典: Highway Statistics Summary To 1995, Highway Statistics 1999, Conditions & Performance Report 1999 アメリカ経済白書 ほか)

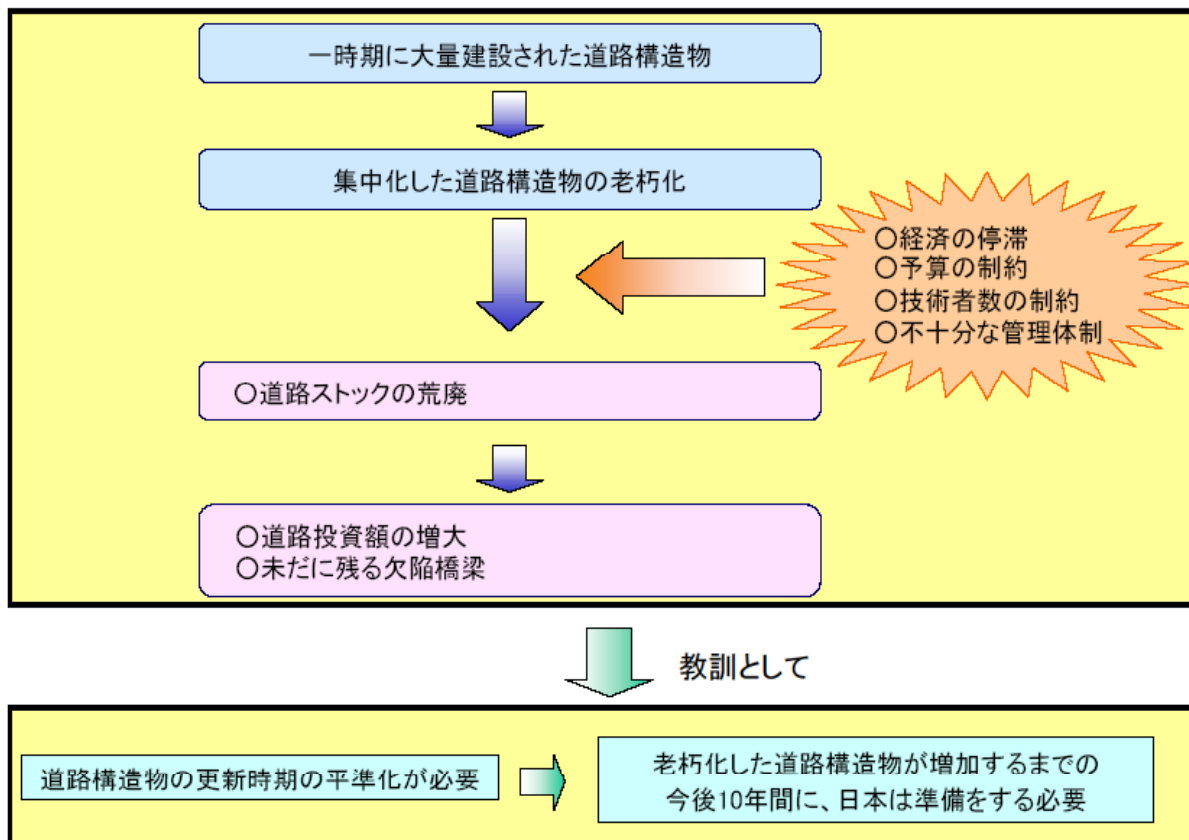
大規模補修を受けた老朽橋の例



Veterans Memorial Bridge (クリーブランド(オハイオ州))



「荒廃するアメリカ」の教訓



I-35W橋の落橋



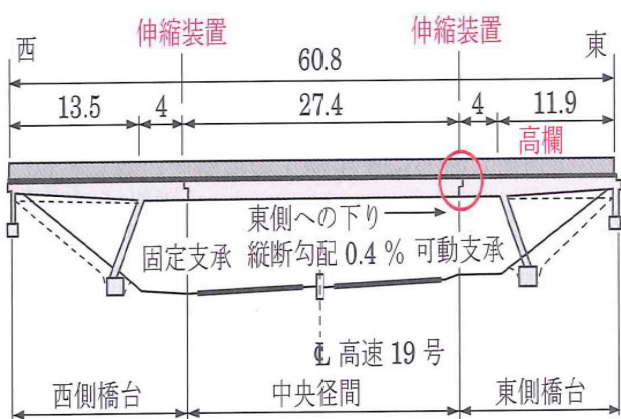
原因究明のため引き上げた部材



CAESAR 

落橋事例：コンクリートゲルバー桁

コンコルド跨道橋(カナダ、ケベック州)
 PCゲルバー桁橋
 L=60.8m W=27.4m
 1968年供用
 損傷：ゲルバー受桁のせん断破壊

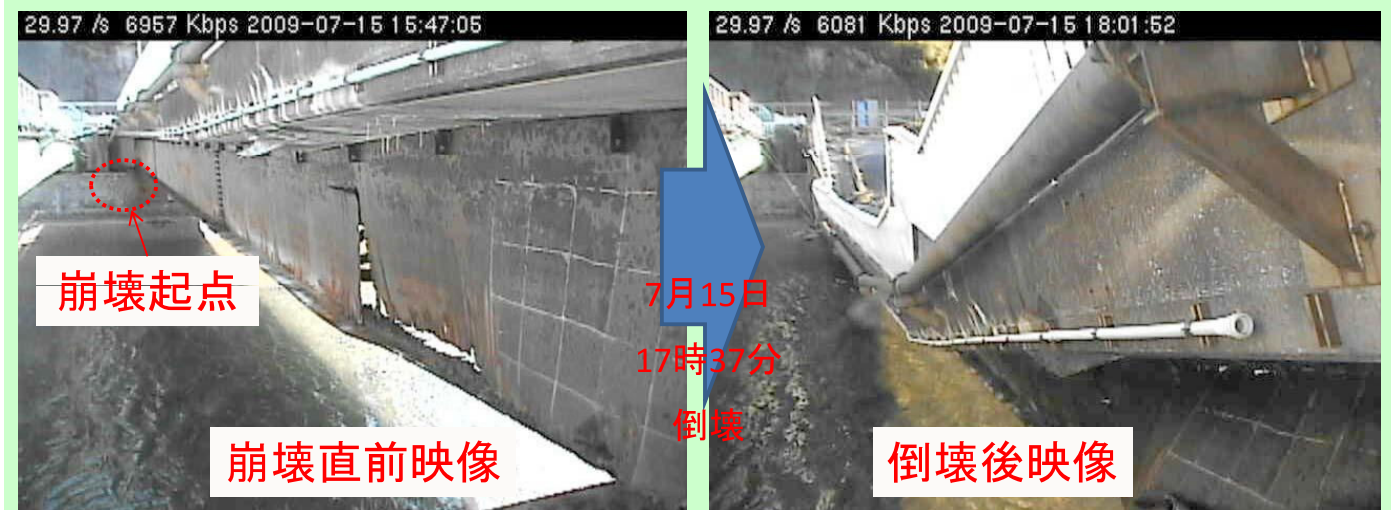


CAESAR 

ゲルバー橋ヒンジ部の状況



沖縄県・辺野喜橋の崩落



- ・位置： 沖縄県国頭村(村管理) 海岸線より50m
- ・諸元等： 単純RC桁橋(3主桁,支間長40m)
耐候性鋼材使用
- ・橋梁形式： 鋼単純合成桁橋(3主桁)
- ・橋格： TL-14 幅員： 6.5m
- ・床版形式： 鉄筋コンクリート床版(16cm)
- ・架設年次： 1981年(昭和56年) **供用開始から28年**

道路橋ストックの現状

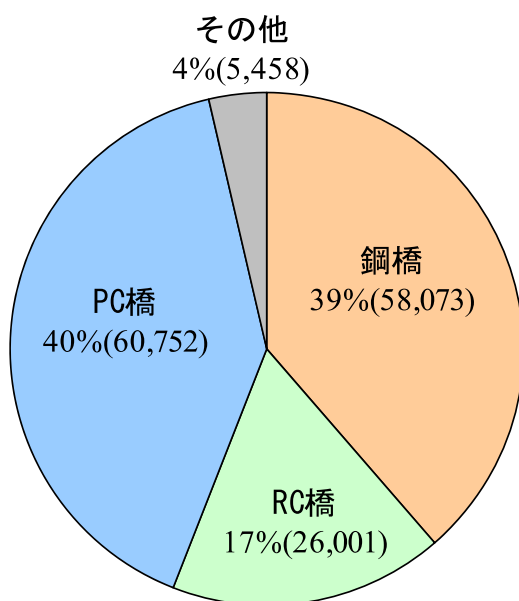
(単位:橋)

	全橋梁数	うち、15m以上
高速自動車国道	7,434	6,500
一般国道	49,857	23,944
都道府県道	100,428	32,867
市町村道	520,068	86,973
計	677,787	150,284

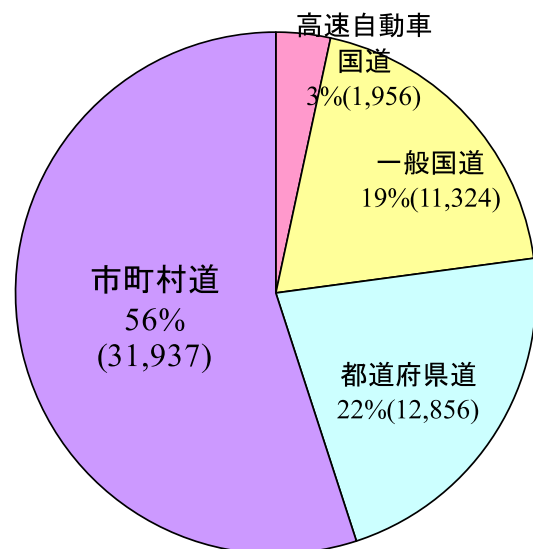
出典:道路統計年報2007

道路橋のストック(橋梁種別・道路種別)

支間長15m以上の橋梁数 : 150,284橋



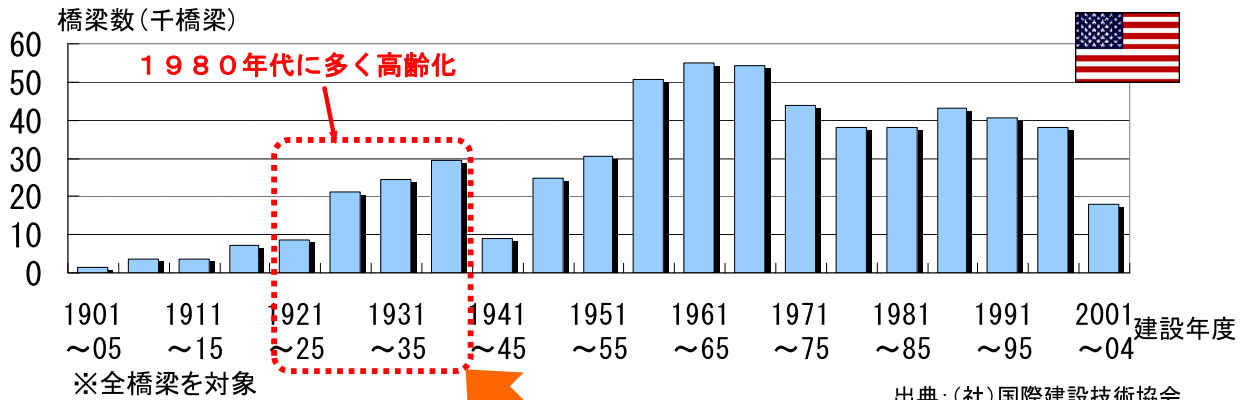
橋梁種別による橋梁数



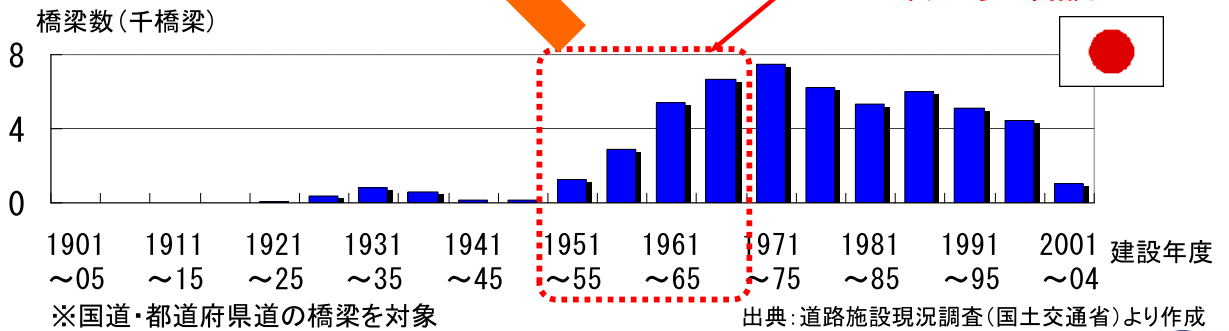
道路種別による橋梁数

高齢化する橋梁

【米国の橋梁の建設年】

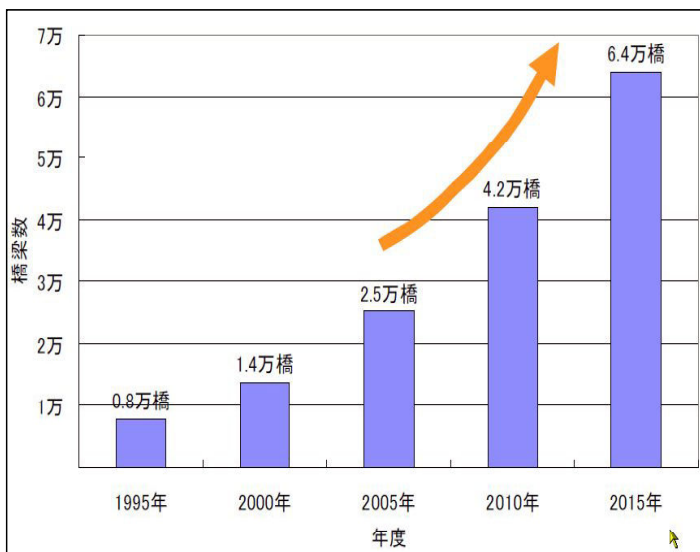


【日本の橋梁の建設年】

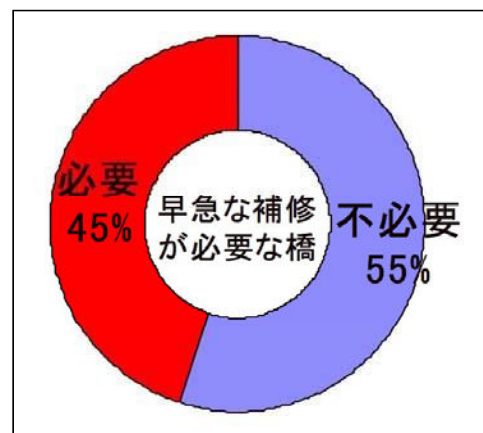


CAESAR FWD

進行する高齢化



橋齢40年以上の橋梁数の推移



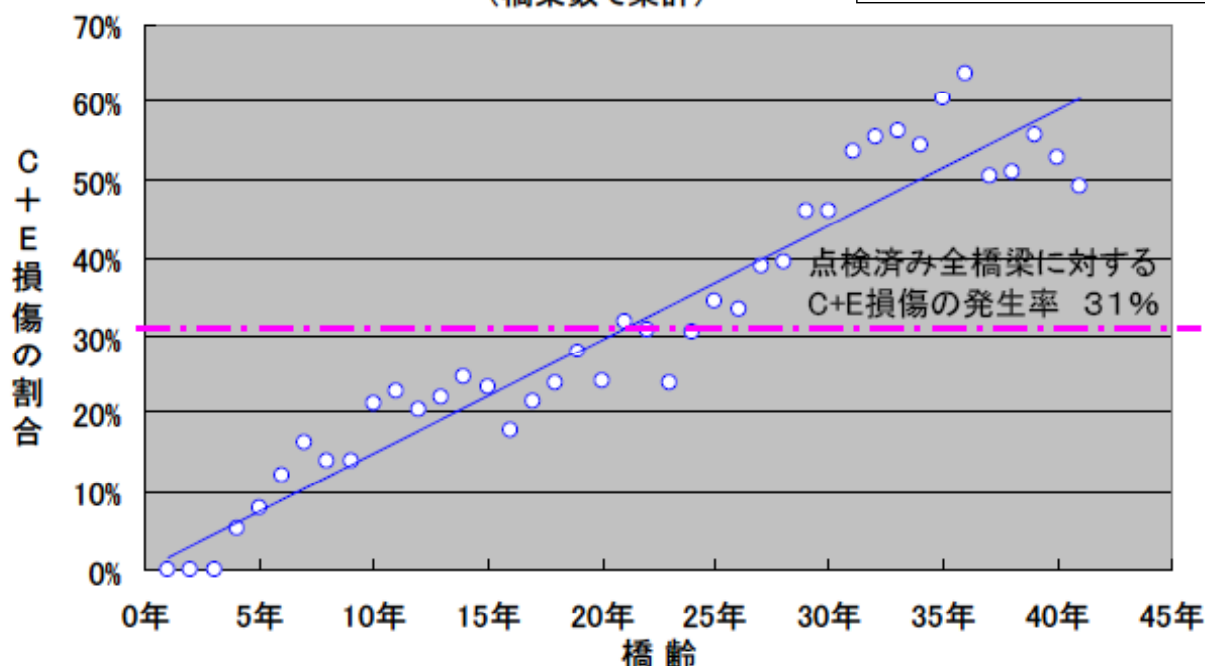
橋齢40年以上の直轄国道橋梁(約5千橋)の点検結果

CAESAR FWD

橋梁の高齢化と損傷の関係

橋齢と C+E 損傷の割合 (橋梁数で集計)

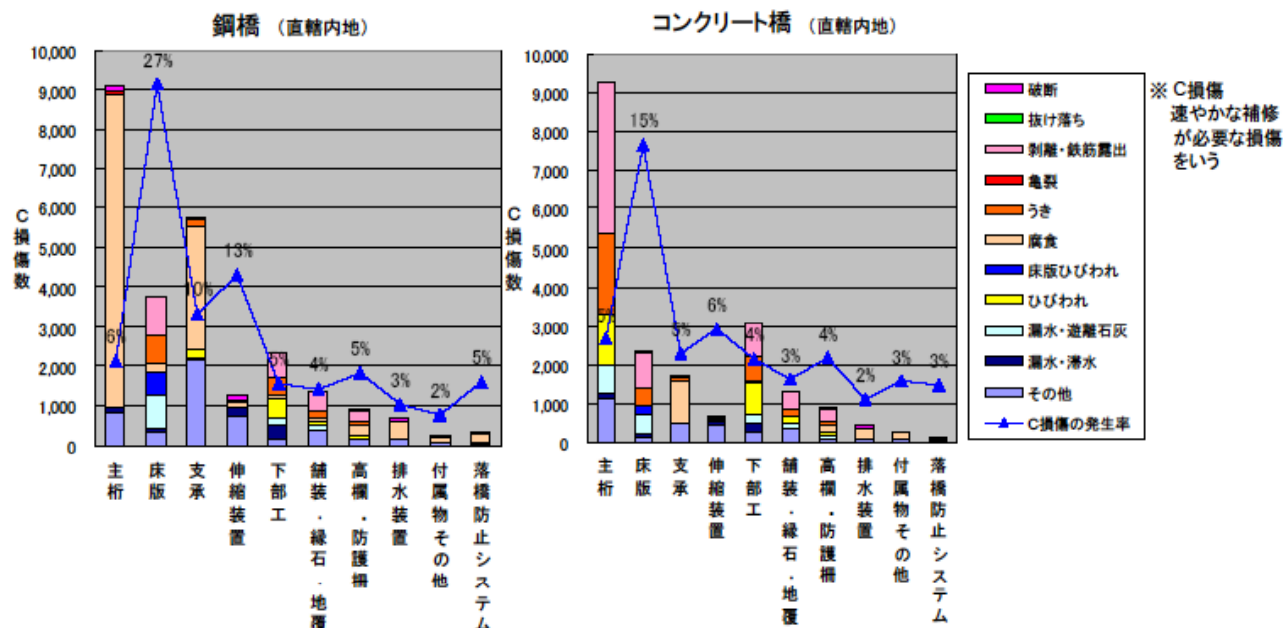
C:速やかに補修等を行う必要がある。
E:緊急対応の必要がある。



直轄管理橋梁の現状 (主な損傷箇所)

- ・ 鋼橋、コンクリート橋とも、「速やかな補修が必要な損傷」は、主桁が最も多い
- ・ 鋼橋、コンクリート橋とも、「速やかな補修が必要な損傷」の発生率は、床版が高い

「速やかな補修が必要な損傷」の発生部位



※ 発生率 = 対象部位の C 損傷の数 ÷ 対象部位の総部材数 (重複あり)

道路橋の予防保全に向けた提言

平成20年5月16日

道路橋の予防保全に向けた有識者会議

【進行する高齢化】

- ・ 2015年には6万橋が橋齢40年超
- ・ 鋼及びコンクリートの経年劣化
- ・ 劣化損傷が多発する危険

【要求性能の高度化】

- ・ 地震への対策
- ・ 最新基準への適応
- ・ 車両大型化への対応

CAESAR 

《 道路橋保全の現状 》

見ない

- ・ 市町村道の約9割が未点検
- ・ 画一的で不十分な対応
- ・ 損傷を見ていない危険

見過ごし

- ・ 点検していたのに国内の道路橋で鋼主部材破断
- ・ 技術力・情報伝達不足で損傷を見過ごしている危険

先送り

- ・ 点検先進国・米国で高速道路橋が崩落
- ・ 補修補強が遅れがちとなる危険

放置すると

《 重大事故につながる危険な橋の増大 》

- ・ 崩落事故等に至るような重大な損傷 → 人命の危険
- ・ 損傷や耐荷力不足による通行規制 → 社会的損失
- ・ 大規模な補修や架替えの発生 → 膨大な費用

CAESAR 

《 早期発見・早期対策の予防保全システム 》

〔 目的 〕

- ・国民の安全安心の確保
- ・ネットワークの信頼性確保
- ・ライフサイクルコストの最小化
- ・構造物の長寿命化

【5つの方策】

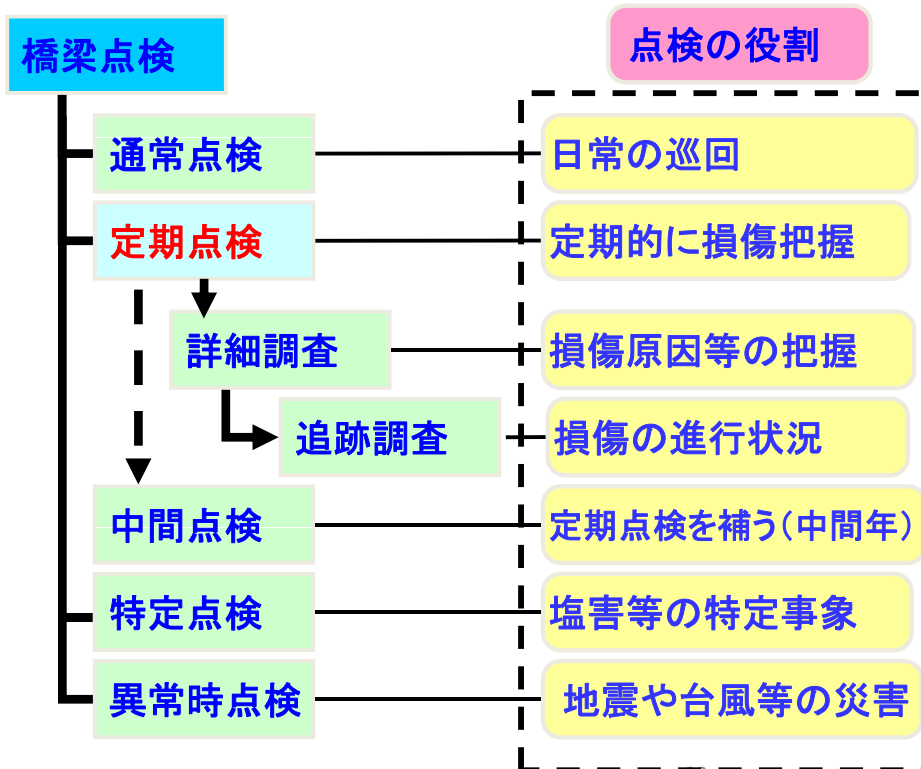
1. 点検の制度化
2. 点検及び診断の信頼性確保
3. 技術開発の推進
4. 技術拠点の整備
5. データベースの構築と活用

ONEON FIVE

2. 点検と検査

○ 直轄道路の点検

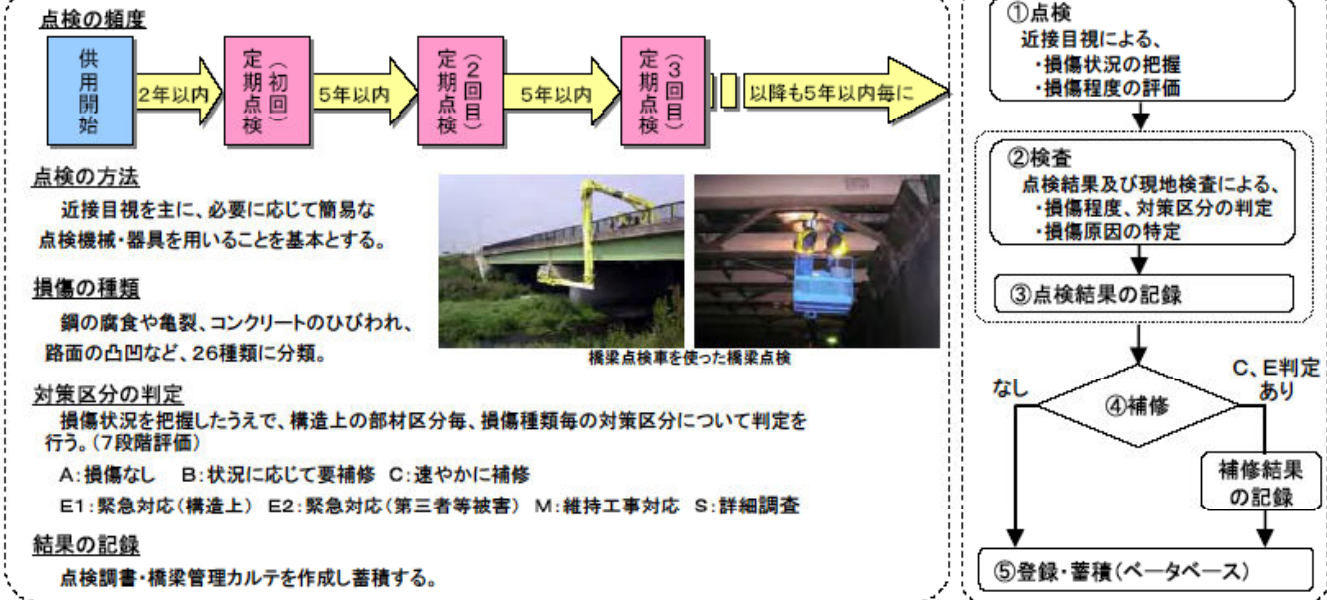
<点検の体系>



直轄管理橋梁の現状(定期点検の概要)

- ・直轄国道の橋梁点検は、「橋梁定期点検要領(案)」(平成16年3月)に基づき実施
- ・供用後2年以内に初回点検を実施し、2回目以降は5年以内に実施
- ・近接目視により、26種類の損傷種類に対して点検を実施
- ・対策の必要性について7段階で判定を行い、点検調書、橋梁管理カルテに記録

<定期点検の概要>



定期点検項目(26項目)

鋼	腐食、亀裂、ゆるみ・脱落、破断、防食機能の劣化
コンクリート	ひび割れ、はく離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、コンクリート補強材の損傷、床版ひび割れ、うき
その他	遊間の異常、路面の凹凸、舗装の異常、支承の機能障害、その他
共通	定着部の異常、変色・劣化、漏水・滞水、異常な音・振動、異常なたわみ、変形・欠損、土砂詰り、沈下・移動・傾斜、洗掘

点検における取得データ(直轄)

S63要領

損傷度標準判定

- ・概略的な損傷程度を把握
- ・実施すべき措置を示唆

判定区分	一般的状況
I	損傷が著しい、 交通の安全確保の支障の恐れ
II	損傷が大きく、 詳細調査を実施、補修を判断
III	損傷が認められ、 追跡調査が必要
IV	損傷が認められ、 その程度を記録
O.K	損傷は認められない

H16改訂

損傷程度の評価

- ・連続的かつ客観的な損傷データ
- ・損傷の種類毎の評価区分

評価区分	a	b	c	d	e
損傷の程度	小 ----- 大				

対策区分の判定

- ・対策の必要性を提示

判定区分	判定の内容
A	損傷がないか、軽微、補修の必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C	速やかに補修を行う必要がある。
E1	構造の安全性、緊急対応の必要がある。
E2	その他緊急対応の必要がある。
M	維持工事に対応する必要がある。
S	詳細調査の必要がある。

CAESAR 

詳細調査等(代表的な調査方法と得られる主な情報)

鋼橋

調査項目	調査方法	調査から得られる主な情報
表面の変状	目視調査	劣化の有無、劣化種類の推定、塗膜劣化程度
	浸透探傷試験	部材表面にある溶接欠陥及び亀裂の状態
	磁粉探傷試験	部材表面にある亀裂の状態
	渦流探傷試験	部材表面及び表層部の亀裂状態
	板厚の測定	腐食部の板厚減少量
	付着塩分の測定	部材表面に付着の塩分量
内部の変状	放射線透過試験	部材内部及び溶接内部の欠陥状態
	超音波探傷試験	部材内部及び溶接内部の欠陥状態
高力ボルトの変状	目視調査	脱落、緩み、腐食の有無
	打音検査	緩み、亀裂の有無
	超音波探傷試験	亀裂の有無
亀裂	図面精査、工場での聞取り調査	板組み、組立手順
	マクロ試験	溶接の方向・積層、補修等の状況
	鋼材調査	材質、鋼材成分、溶接性
	載荷試験応力計測	設計値との比較、動的挙動
	供用下応力頻度計測	応力変動幅と繰返し回数

CAESAR 

詳細調査等(代表的な調査方法と得られる主な情報)

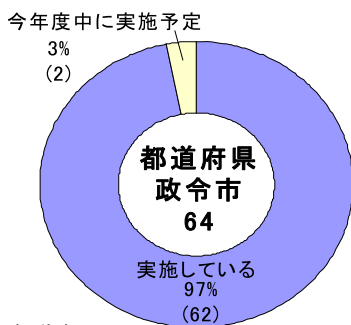
コンクリート橋

主な調査項目	調査方法	調査から得られる主な情報
耐荷性能	載荷試験	ひび割れの開閉やすれ、構造物のたわみ
表面の変状	目視調査	コンクリート表面の変状、ひび割れの進展
	超音波法	ひび割れ深さの推定
	反発度法	表面付近のコンクリートの圧縮強度
	凍害関連試験	表面のぜい弱度、凍害深さ
PC鋼材、鉄筋の状況	はつり調査、削孔調査	鉄筋のかぶり厚さ、鉄筋種類、鉄筋の腐食状況、ひび割れ深さ、グラウトの充填状況
内部の変状	X線透過法	グラウトの充填状況、配筋状況、空洞
	電磁レーダ法、電磁誘導法	配筋状況、鉄筋のかぶり
	自然電位法	鋼材腐食状況
既設コンクリートの状況	含水量調査	コンクリート中の水分量
	打音法	コンクリートの浮きや空洞の有無
	サーモグラフィー法	コンクリートの浮き、水分の影響範囲
	圧縮強度・静弾性係数試験	コンクリートの圧縮強度・静弾性係数
	アルカリ骨材反応関連試験	化学法：骨材の膨張性の判定 モルタルバー法：膨張量、残存膨張量 コア観察：ゲル・反応リング、鉱物の特定
	塩化物イオン濃度試験	塩化物イオン濃度、見かけの拡散係数
	フェノールフタレイン法	中性化深さ、中性化速度係数
	はつり調査、削孔調査	中性化深さ、骨材の種類、アルカリ骨材反応時の滲出物

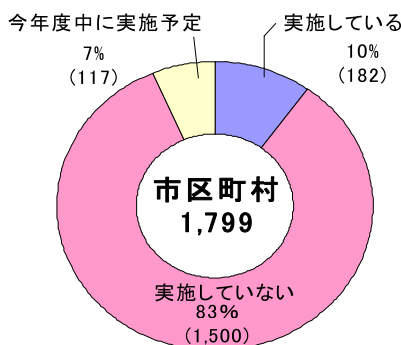


橋梁の定期点検(地方公共団体)

【定期点検の実施状況】



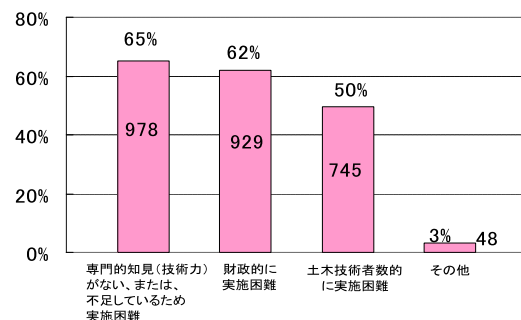
※47都道府県
※17政令市



※管理橋梁がない11区町村を除く

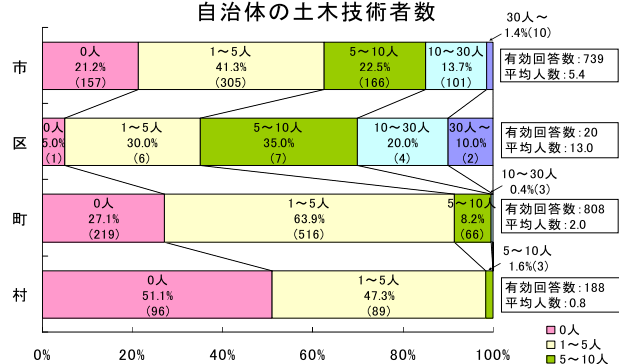
【市区町村の状況】

定期点検を実施していない主な理由



※ 回答のある1,799市区町村のうち、定期点検を実施していない1,500を対象
※ 複数回答有

自治体の土木技術者数



※ 1,810市区町村のうち、回答のあった1,755市区町村を対象

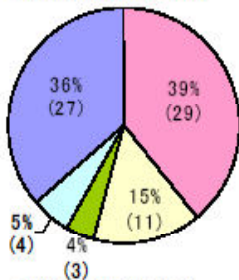
国土交通省 平成19年9月調査



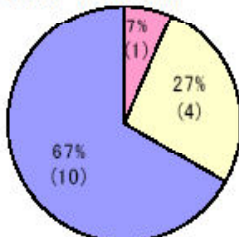
地方公共団体が管理する道路橋(通行規制)

[通行止め・通行規制中の要因別橋梁数]

【都道府県】(74橋)



※通行止め橋梁1橋有
【政令市】(15橋)

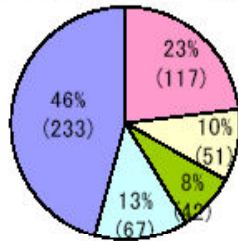


※通行止め橋梁1橋有

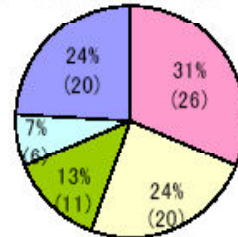
■ 桁等の主部材 ■ 床版 ■ 橋台・橋脚 ■ その他 ■ 設計等の陳腐化

国土交通省調べ(平成19年9月調査)

【市区町村(規制)】(510橋)



【市区町村(通行止め)】(83橋)



[通行止め中の道路橋事例]

(宮崎県 東郷橋 劣化損傷により通行止め中)



・劣化による橋脚部のコンクリート欠落のため、路面段差が発生し、全面規制実施中。



・支承部コンクリート劣化欠損の状況



国総研資料「道路橋に関する基礎データ収集要領(案)」

○概要

点検結果の分析をもとに、
点検要領より50%以上取得データを
削減しつつも、概略の橋の状態を
できるだけ捕捉

定期点検要領(案)	基礎データ集収要領(案)
26損傷×5段階評価 =130区分	12損傷×2~5段階評価 =33区分 (25%)
橋梁全体	腐食:桁端部 等
近接目視	下部工:遠望目視 等
損傷程度の評価	約5割以上の削減
対策区分の判定	対象外

→ 点検未実施橋梁の早期解消への貢献

→ 点検要領策定への参考資料

H16 直轄要領			本要領(案)		
鋼部材の損傷	腐食	桁端部 a~e	腐食	桁端部	a~e
		中間部 a~e			
	亀裂	桁端部 a~e	亀裂	桁端部	有無
		中間部 a~e			
	ゆるみ・脱落	a~e	ボルトの脱落		有無
	破断	桁端部 a~e	破断		有無
	中間部 a~e				
	防食機能の劣化	a~e			
コンクリート部材の損傷	ひびわれ	a~e	ひびわれ・漏水・遊離石灰		a~e
	漏水・遊離石灰	a~e			
	剥離・鉄筋露出	a~e	鉄筋露出		有無
	抜け落ち	a~e	抜け落ち		有無
	コンクリート補強材の損傷	a~e			
	床版ひびわれ	端部2パネル a~e	床版(ひびわれ・漏水・遊離石灰)	端部2パネル	a~e
	中間部 a~e				
	うき	a~e	PC定着部の異常		有無
その他の損傷	遊間の異常	a~e			
	路面の凹凸	伸縮継手部 a~e	路面の凹凸		有無
		その他 a~e			
	舗装の異常	a~e			
	支承の機能障害	a~e	支承の機能障害		有無
	その他	a~e			
共通の損傷	定着部の異常	a~e			
	変色・劣化	a~e			
	漏水・滲水	a~e			
	異常な音・振動	a~e			
	異常なたわみ	a~e			
	変形・欠損	a~e			
	土砂詰り	a~e			
	沈下・移動・傾斜	下部工 a~e	下部工の変状(沈下・移動・傾斜・洗掘)	下部工	有無
		支点 a~e			
	洗掘	a~e			



3. 橋梁のアセットマネジメント

○アセットマネジメントの概念とBMS

■アセットマネジメントの2つの概念

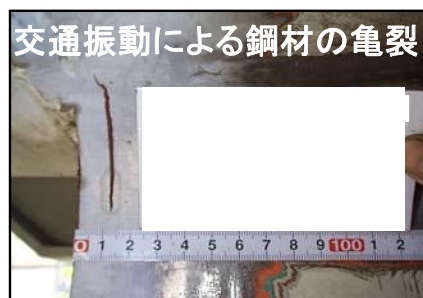
- ・ マクロマネジメントとミクロマネジメントの2つの概念
- ・ 橋梁等の構造物を群として捉え、中長期における全体最適管理計画の策定を目指すものをマクロマネジメントという
- ・ 個々の当該橋梁について、現状から将来の状態を予測し、個別最適管理計画の策定を目指すものをミクロマネジメントという

■アセットマネジメントの概念とBMS

- ・ 1橋1橋で異なる環境等を全てパラメータとして予測曲線を作成することは非現実的であり、現在の知見での予測精度はかなり幅をもったもの
- ・ 現在、BMSとして普及しているものはマクロマネジメントであるが、健全度予測について精度等の課題が多いのが現状であり、個別の橋については、現況をよく調査・理解することが重要

状態評価・将来予測の困難さ

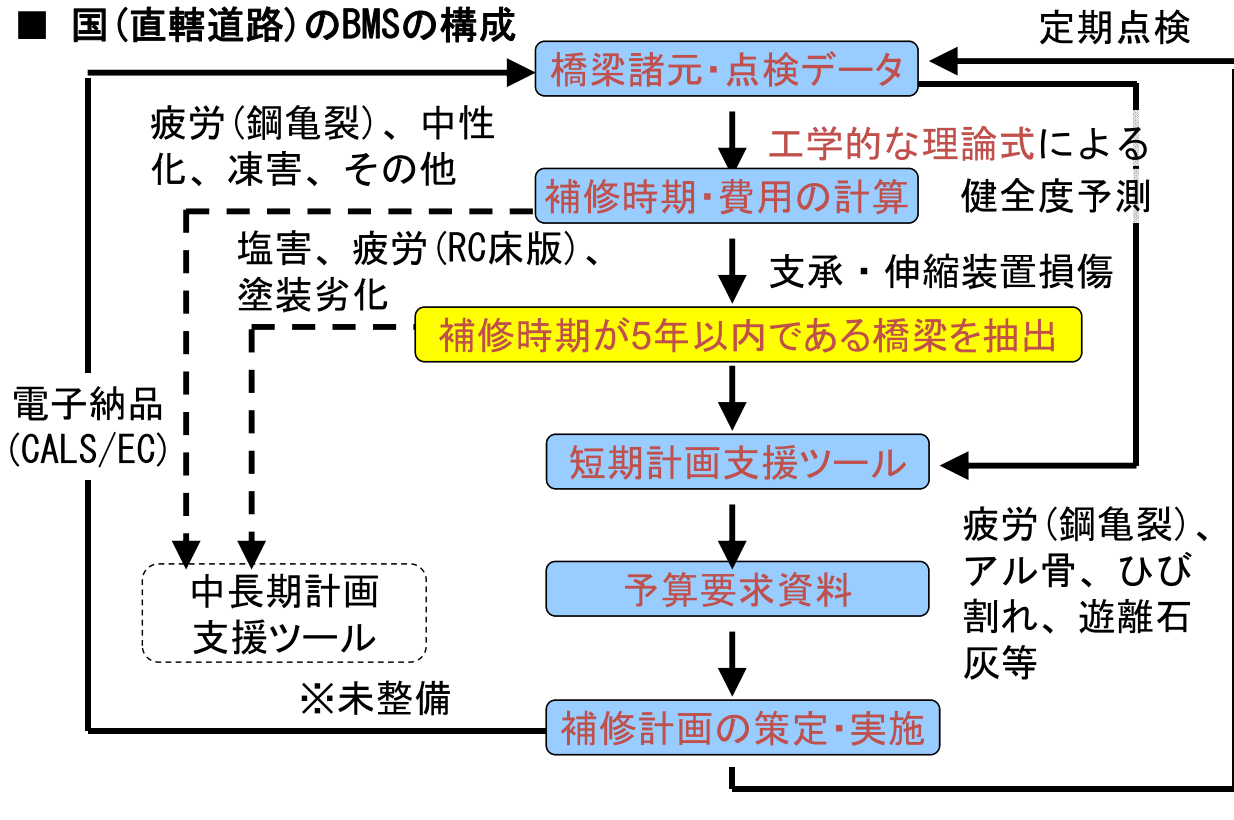
- ・ 多様な損傷形態と多岐にわたる原因
 - ①初期品質のばらつき
 - ②極めて多様な劣化要因・過程・形態
 - ③状態（損傷）が性能に及ぼす影響は複雑で研究途上



- 自然環境の違い（都市部、海岸部、山岳部等）
- 使用環境の違い（交通量、大型車の割合等）
- 環境による状態評価の違い(部分的な損傷が致命的になるとは限らない)

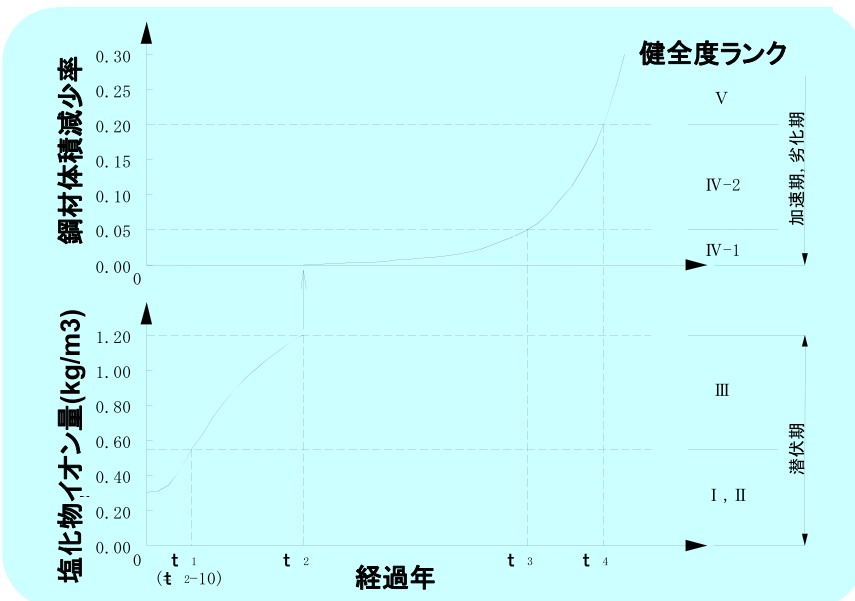
国(直轄道路)のBMS

■ 国(直轄道路)のBMSの構成



劣化予測手法(直轄道路)

- ・ 国総研の研究によりコンクリートの塩害・RC床版の疲労・鋼部材の塗装劣化、腐食について工学的な理論式による劣化予測モデルを設定



コンクリートの塩害の事例

- 経過年による塩化物イオン量(kg/m³)および鋼材体積減少量を理論式より計算
- 塩化物イオン量および鋼材体積減少率から健全度ランクを設定
- 健全度ランク毎に標準的な補修工法が設定されており、補修工費を算出



高速道路会社・自治体のBMS

■ アセットマネジメントの取り組み状況

都道府県

- ・ 半数以上の都道府県が既に橋梁長寿命化修繕計画を策定し、その他も策定中

政令指定都市

- ・ 横浜市、大阪市、神戸市、福岡市、北九州市などが橋梁長寿命化修繕計画を策定

■ BMSの使用ツール（ソフト）の例

- ・ NEXCO、阪神高速道路（株）は独自にツール（NEXCO-BMS、H-BMS）を開発し、使用
- ・ （財）大阪地域計画研究所が開発した橋梁マネジメントシステムツールを青森県、茨城県などが使用
- ・ 民間企業が開発したシステム（I-BIMS）を石川県が使用、（財）いしかわまちづくり技術センターが運用



自治体の劣化予測手法の事例

・ 東京都

昭和62年から独自の要領に基づき定期的に点検を行ってきており、延べ5,200橋分のデータを保有している。これらの蓄積された豊富なデータを分析し、劣化曲線を求め劣化予測を行っている。

・ 青森県

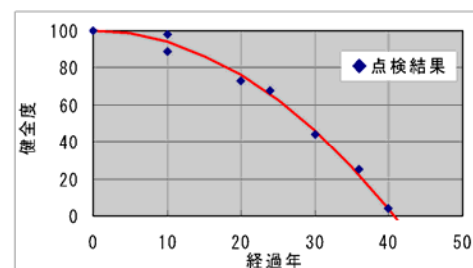
橋梁点検のデータの蓄積もなく、また、県内の740橋の点検結果のみにより予測式の設定は困難であるため、共同研究による研究成果などを基に劣化予測式を設定している。

・ 静岡県、長崎県

点検結果を統計的に処理（回帰分析）することで上に凸の二次曲線として設定している。

静岡県の例

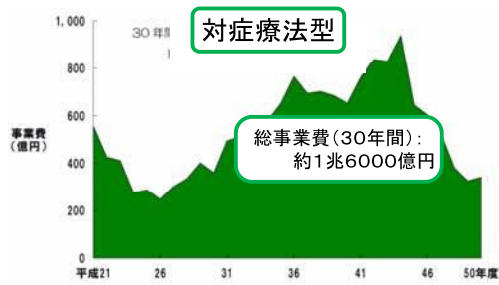
上に凸の劣化曲線



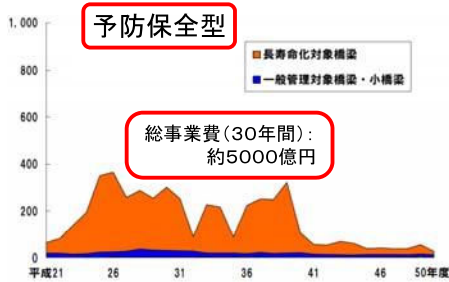
- 損傷の重大性等から評価した損傷度を用い、100－損傷度より健全性を算定
- 上に凸の劣化曲線から経過年による健全度を推定
- 健全度に応じた標準的な補修工法・単価より工費を算出



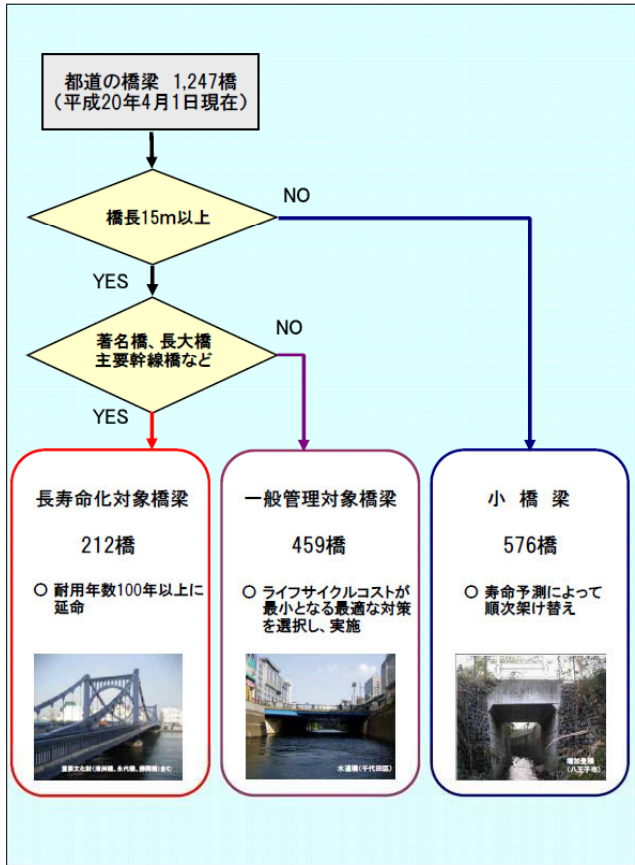
道路橋の管理計画例：東京都「橋梁の管理に関する中長期計画」



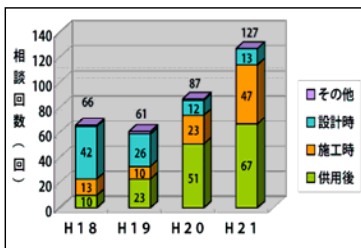
コスト縮減
約1.1兆円



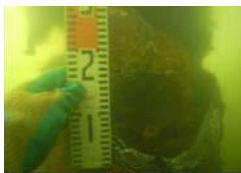
計画橋梁の区分



4. 技術相談事例に見る損傷の実態






CAESARIに寄せられた橋梁に関する技術相談



三大損傷の顕在化

- ・三大損傷（塩害、アルカリ骨材反応、疲労）が顕在化

三大損傷とは、疲労、塩害、アルカリ骨材反応を言い、放置することにより劣化が進行し、橋梁の安全性に影響を及ぼす可能性のある損傷である。

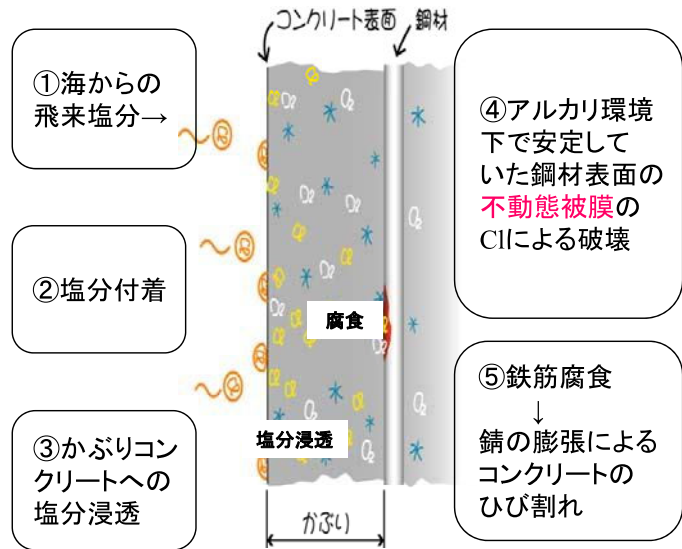
		損傷の概要
塩害		コンクリート中の鉄筋、PC鋼材が、塩化物イオンの侵入により腐食することで、コンクリートにひび割れや剥離が生じる損傷である。腐食が進行すると剥離・鉄筋露出などが生じ、さらに進行すると鉄筋、PC鋼材が破断に至る危険性がある。
アルカリ骨材反応		コンクリートの骨材に反応性の鉱物が含まれていた場合、コンクリート中のアルカリ性の水分と反応し、骨材が異常膨張して亀甲状のひび割れが生じる損傷である。コンクリートの膨張とそれに伴うひび割れが進展すると、鉄筋の降伏や破断に至る危険性がある。
疲労 (鋼製橋脚)		重交通による繰り返し荷重により疲労が累積され、亀裂が生じ、進展すると部材が破断に至る危険性がある。
疲労 (RC床版)		重交通による繰り返し荷重により疲労が累積され、ひび割れが生じ、進展すると抜け落ちに至る危険性がある。

コンクリート橋の損傷と対応

- ・塩害による損傷
- ・ASRによる損傷
- ・ゲルバー形式

塩害による損傷

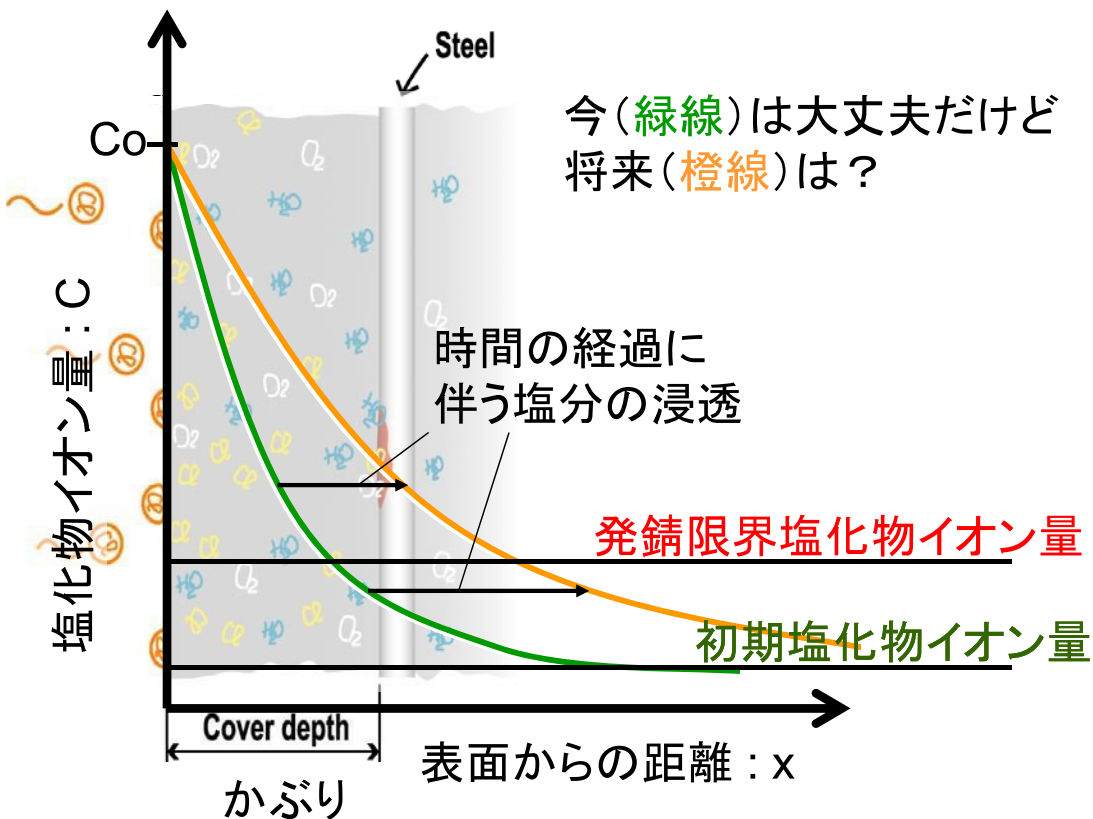
・ コンクリート中の塩化物イオンによる鋼材腐食



塩害橋梁維持管理マニュアル(案)



時間の経過に伴う塩分の浸透

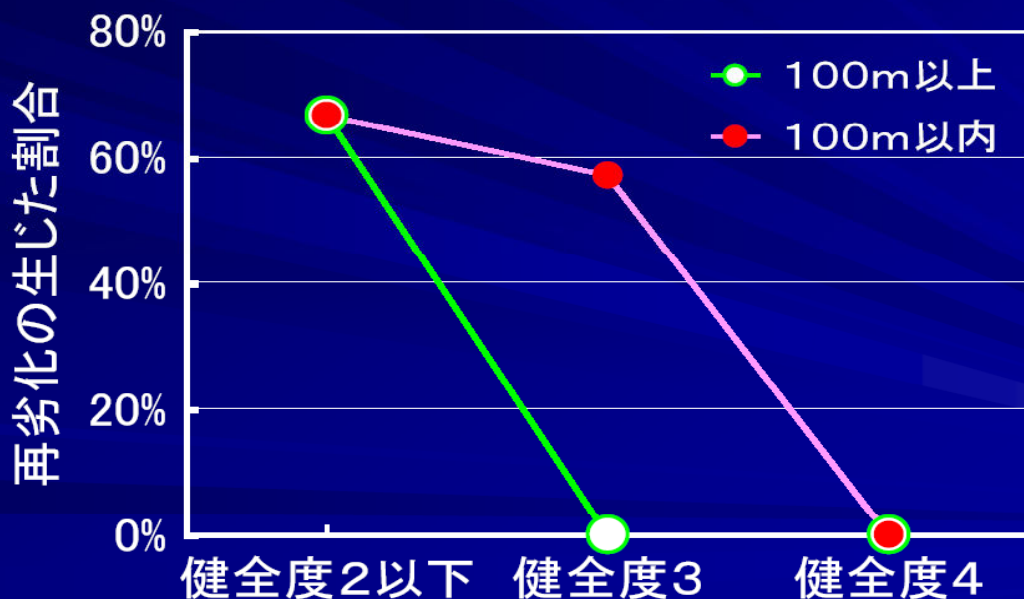


塩害に対する補修

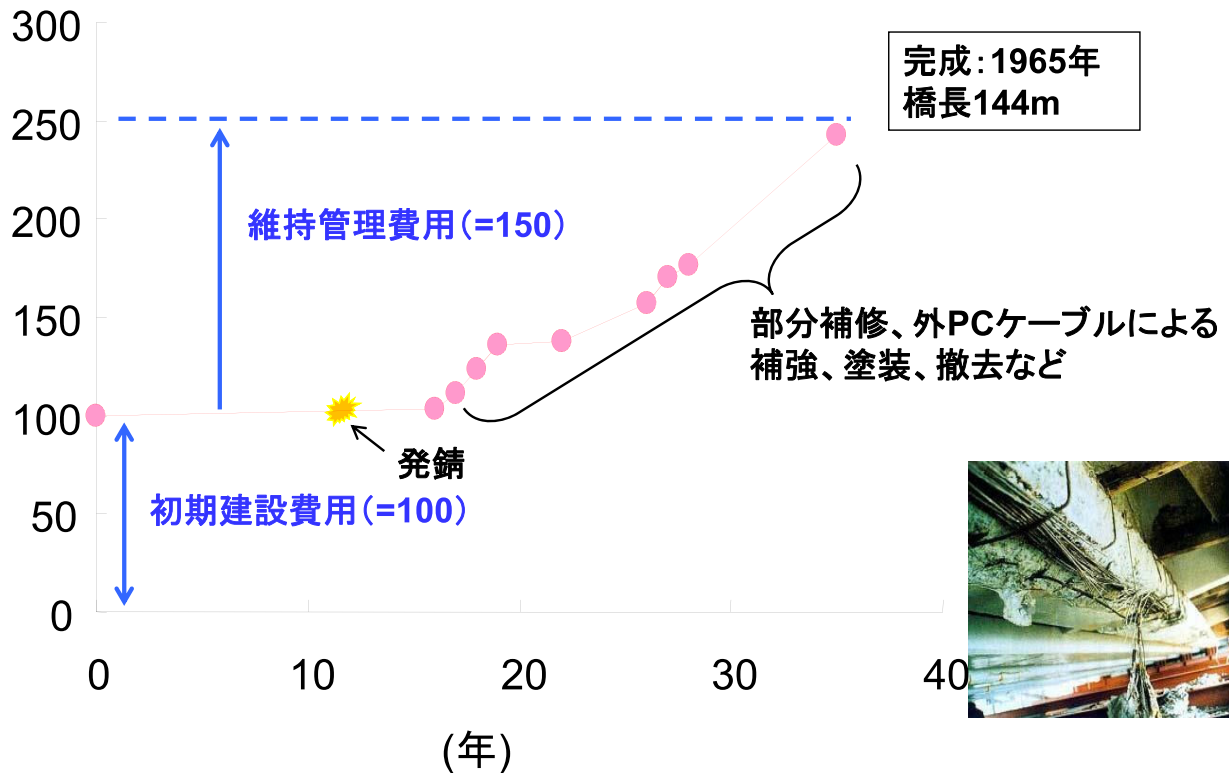
- 早めの補修が重要
- 例えば
 - 表面被覆:すでにコンクリート中に多量の塩分が含まれる場合は腐食は止まらない
 - 断面修復:プレストレスコンクリートの場合,はつった部位のプレストレス力が失われる
 - 電気化学的脱塩:塩分を除去できる範囲は限定される
 - 電気防食:常に適切な防食電流が流れるように維持管理が必要,耐荷力は回復しない

補修したコンクリート構造物の劣化実態調査

■ 補修前の健全度と補修後の状況の関連性



コンクリート橋の維持管理コスト(塩害損傷により架替え)



PCケーブルの破断(内部からの塩害)

【橋梁概要】

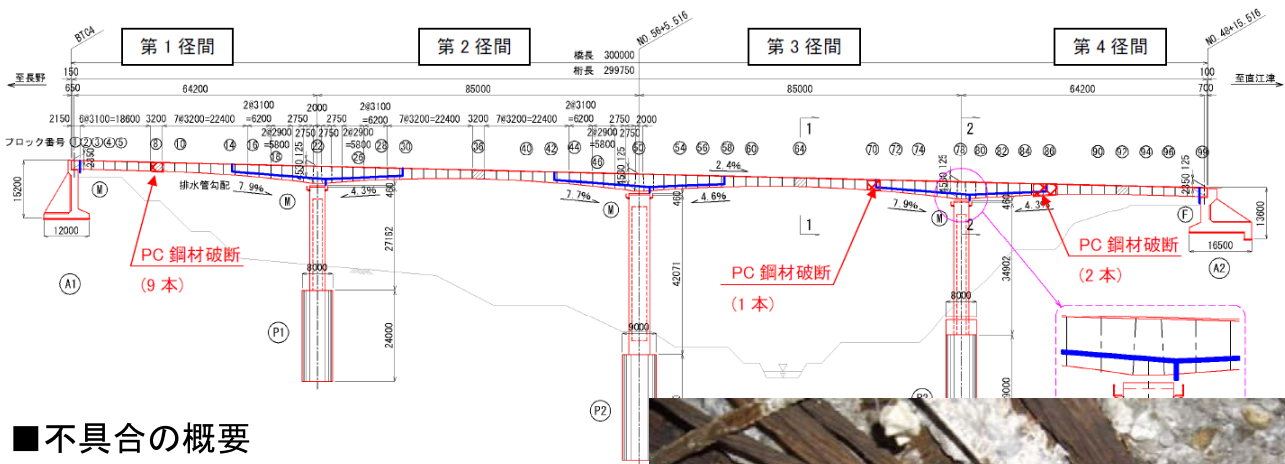
- 直轄国道
- 橋 長 : L=300m
- 幅 員 : W=10.0m
- 形 式 : 4径間連続PC箱桁橋
(プレキャストカンチレバー架設)
- 竣 工 : 昭和47年(1972年)



■不具合の概要

橋梁点検結果を踏まえ、橋梁補修工事の実施。下床版下面のコンクリートをはつり出したところ、PCケーブルの破断を確認。

PCケーブルの破断(内部からの塩害)



■不具合の概要

第1径間下床版下面のコンクリートをはつり出したところ、PCケーブルの破断を確認。(後に、第3径間、第4径間でも破断を確認)

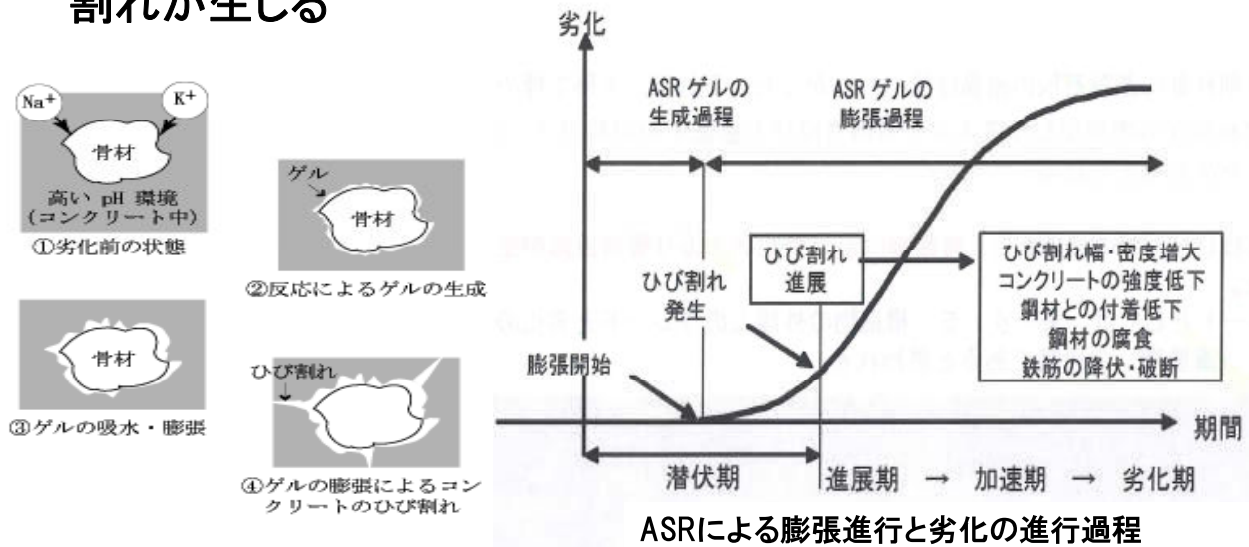


アルカリ骨材反応(ASR)による損傷



アルカリ骨材反応

- ・ コンクリート中の高pH環境で、骨材に含まれるシリカが反応して生じたアルカリシリカゲルが膨張し、コンクリートにひび割れが生じる



- ・ アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)
- ・ 道路橋に対するASR補修・補強の手引き(案)

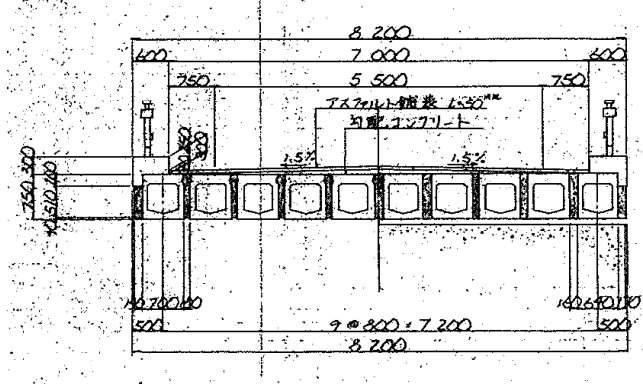
アルカリ骨材反応に対する維持管理

- ・ 基本的な考え方
 - アル骨が生じているが軽微 → 経過観察
 - ・ ひび割れが析出物で埋まっているような場合
 - ・ ほとんどのものは20年以上経過
 - ひび割れが耐久性に影響 → 補修
 - 鉄筋が破断 → 個別に耐荷力を評価して検討
 - ・ 鉄筋が有効と見なせる範囲やコンクリートの物性の変化を適切に考慮する必要がある
- ・ 安心できる補修はない

PC単純中空床版橋のひび割れ

【橋梁概要】

- 市道
- 橋 長：L=33m
- 幅 員：W=8.2m
- 形 式：プレテンション方式
PC単純中空床版橋
- 竣 工：昭和58年(1983年)
- 規 制：建設当初から大型車通行禁止
(昭和47年から路線全体)

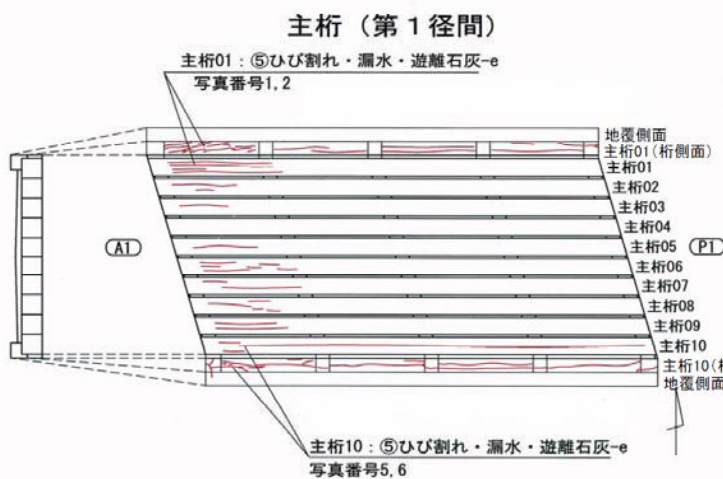


■不具合の概要

PC桁全体的に橋軸方向のひび割れが見られ、特に両端の桁で発生量が多い。ひび割れその他、漏水や遊離石灰などが生じている。

51

PC単純中空床版橋のひび割れ



■不具合の概要

雨水のあたらない部分でもひび割れが発生。



桁と桁の間を覗くと路面防水が十分でないのか上からの水が桁を伝わり、ひび割れが生じていた

RCゲルバー桁橋



市管理橋梁

橋梁形式: 11径間RCゲルバー桁橋
橋 長: L=253.7m
竣 工 年: 1935年
活 荷 重: T-13

床版及びゲルバー部に鋼板接着
昨年の地震で橋脚の一部が損傷
→ 重量制限6トン

↓
地方整備局道路保全
企画官を經由して
技術相談



【未補修部】



【補修部】



国総研・CAESAR

損傷状況調査と当面の措置

- ・ヒンジ部を中心に亀裂の状況を調査
- ・車両荷重規制の継続



鋼橋の損傷と対応

- ・腐食
- ・疲労



日本の厳しい腐食環境

季節風による波しぶき



凍結防止剤の散布



CAESAR FIVE

鋼橋の腐食: 多様な劣化要因



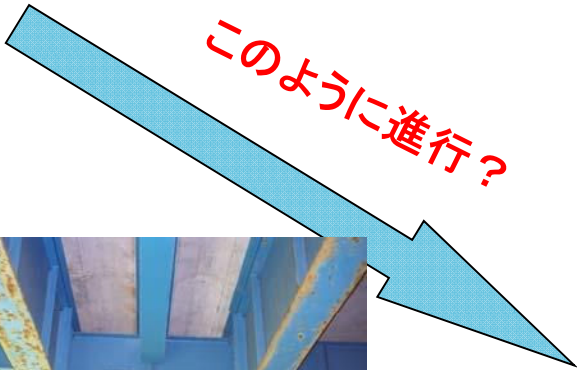
【主な腐食要因】

- 周辺条件（マクロ環境）
飛来塩分、凍結防止剤の散布
- 架橋位置条件（ローカル環境）
桁下・桁端環境、地形条件、路面勾配等
凍結防止剤の飛散の影響等
- 構造部位条件（ミクロ環境）
構造ディテール、水まわりの処理

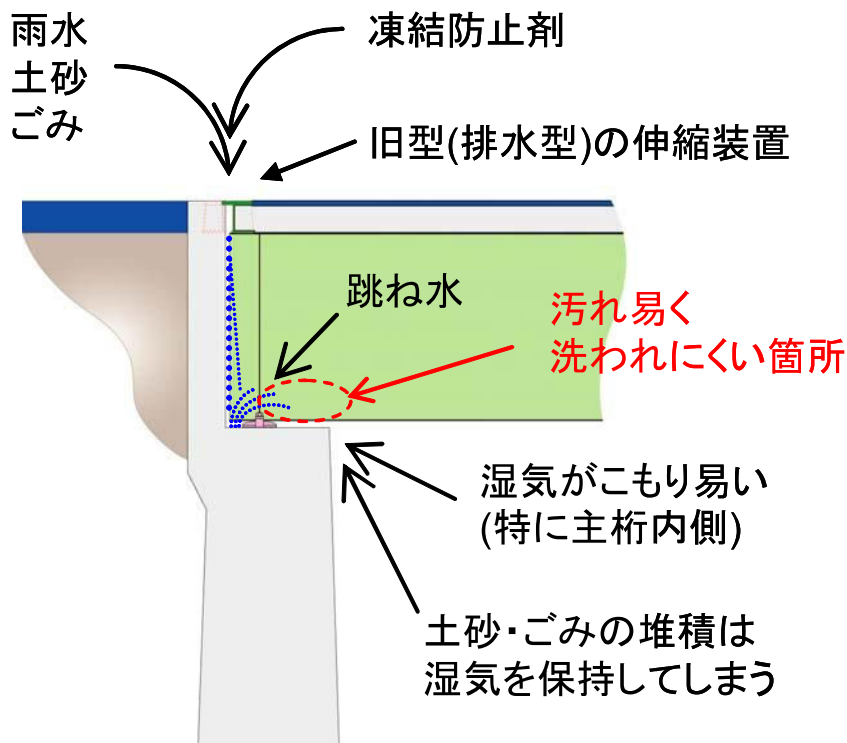


CAESAR FIVE

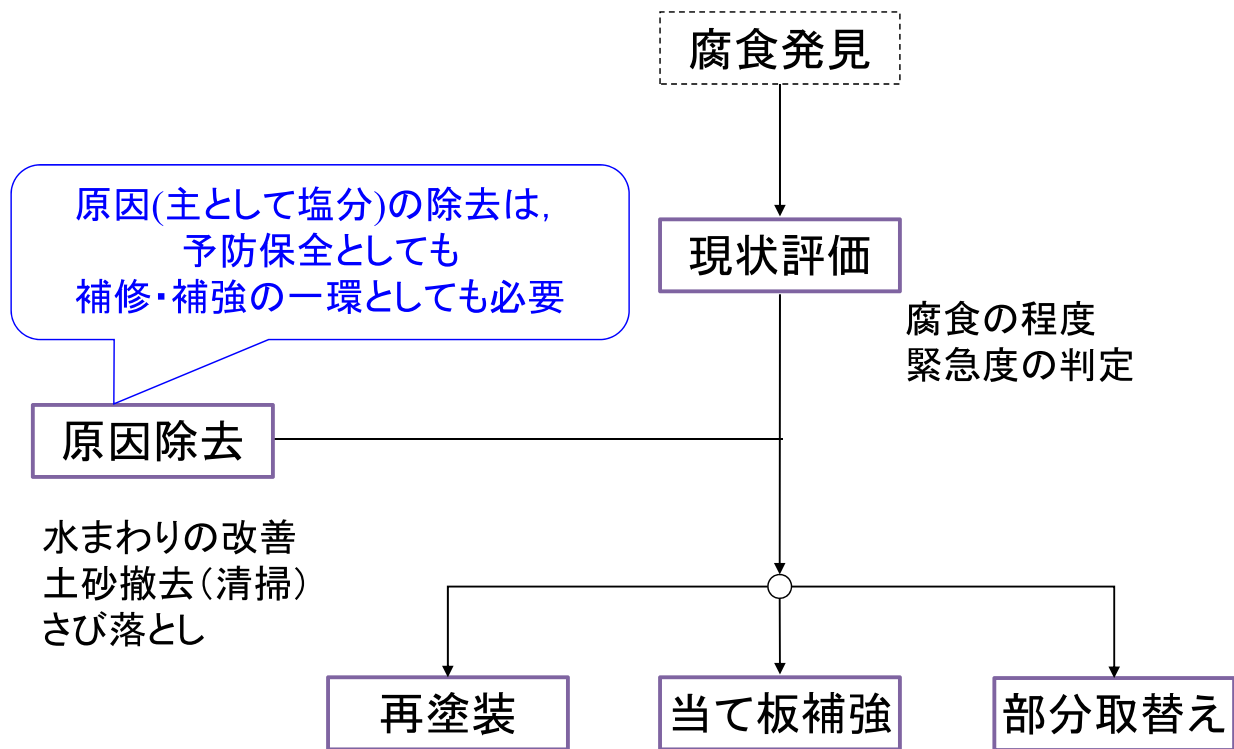
劣化の形態も一様でない



桁端部の腐食環境



鋼橋桁端部の腐食対策



桁端部の腐食と補強例



ウェブの欠損

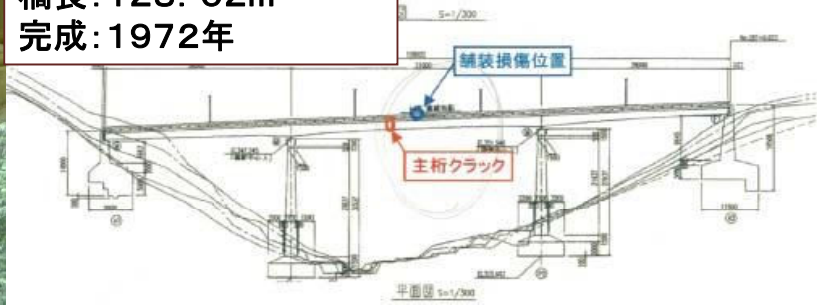
支承周りの切除・新規部材への交換



鋼橋の疲労: 主桁の亀裂



形式: 鋼3径間連続板桁橋
橋長: 128.02m
完成: 1972年



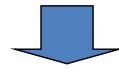
主桁亀裂位置(外側)



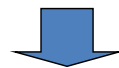
亀裂の状況(内側) CAESAR FIVE

疲労現象(鋼)とは?

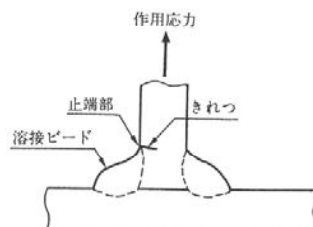
外力の繰返し作用 (応力の繰返し)



- 構造的な応力集中部
- 溶接形状や溶接欠陥等に起因する応力集中部



応力集中部からきれつが発生



1回作用するだけでは構造物に影響を与えない小さな荷重でも、何十万回、何百万回繰返し作用することにより、き裂の発生につながる

疲労損傷の要因

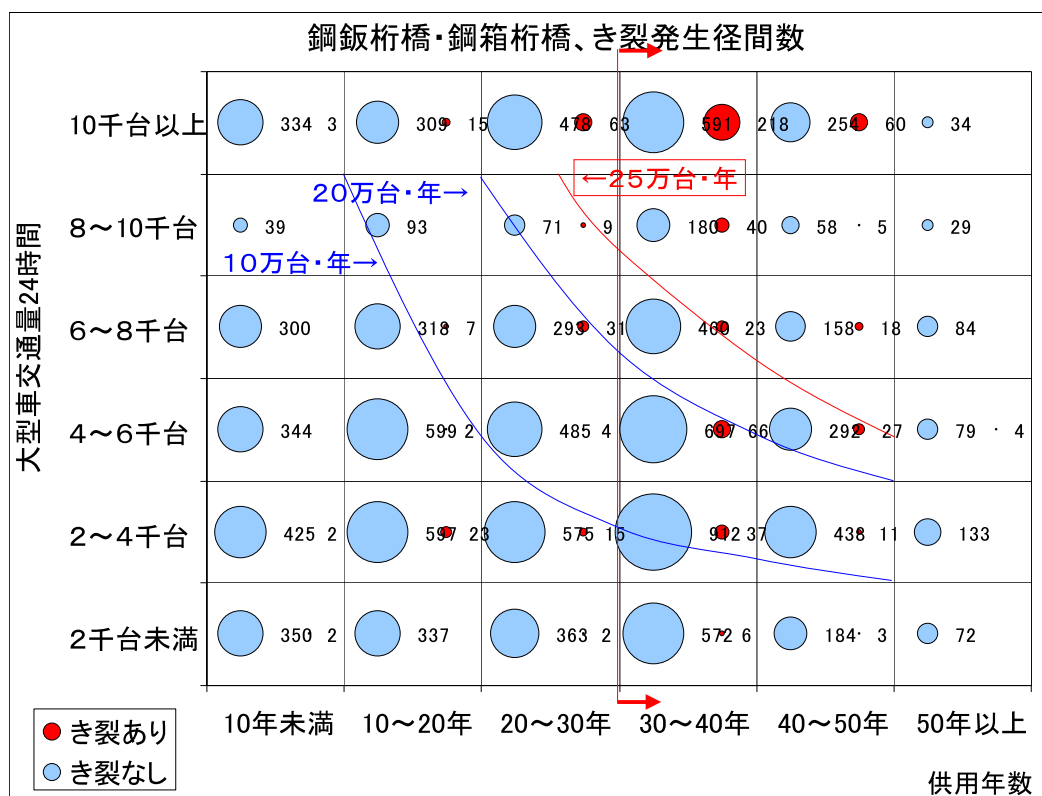
☆直接的には応力の集中と繰返し

☆損傷を生じやすくする要因はあらゆる段階に存在

- ・ **荷重要因**: 大型車両の増大、とくに過積載車両の存在
 予想していない振動現象(風、交通振動)
- ・ **設計要因**:
 - 不適切な構造ディテールの採用(応力集中)
 - モデル化と実構造との違い(二次応力)
- ・ **製作・施工要因**:
 - 製作誤差、溶接品質の不良に伴う応力集中
- ・ **維持管理要因**:
 - 腐食・劣化に伴う支承等の機能低下

定期点検結果の分析例

客観的データの蓄積で合理化の可能性も



補修補強対策の基本

- (1) 損傷原因の除去・緩和と疲労強度の向上
 - ・周辺部に新たな応力集中部を生じさせないこと
 - ・力の伝達の不確実性や亀裂の進展可能性を想定すること
- (2) 損傷状況、施工条件に応じた適切な対策の選定
 - ・損傷状態、部材の重要度、損傷原因、亀裂進展の可能性等
- (3) 溶接は避けるべき

疲労亀裂の補修



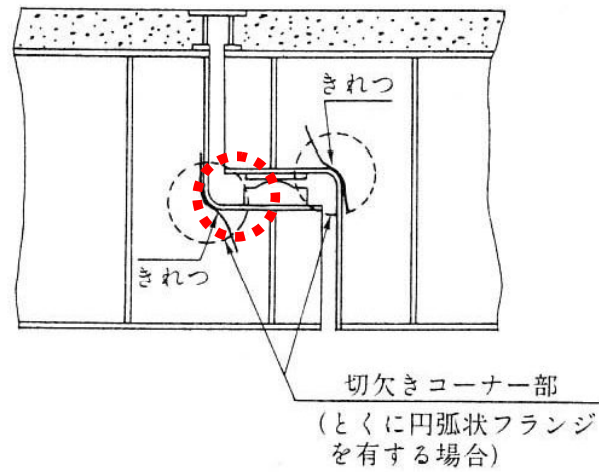
荷重分配横桁の
ギャッププレート
補修(になっていない！)



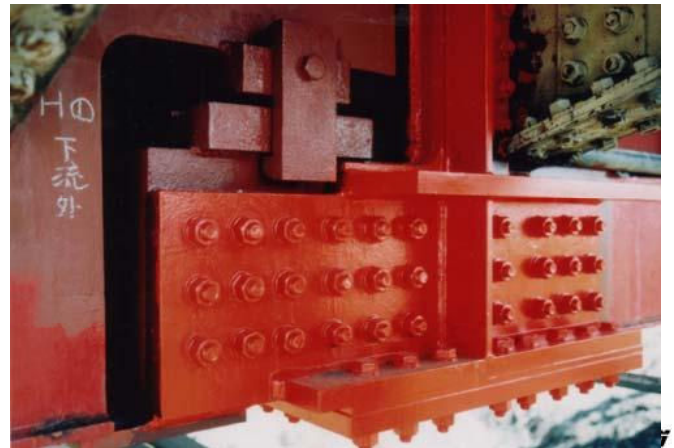
あて板
補強



ゲルバーヒンジ部の損傷と補修



・リブ付き添接板による補強



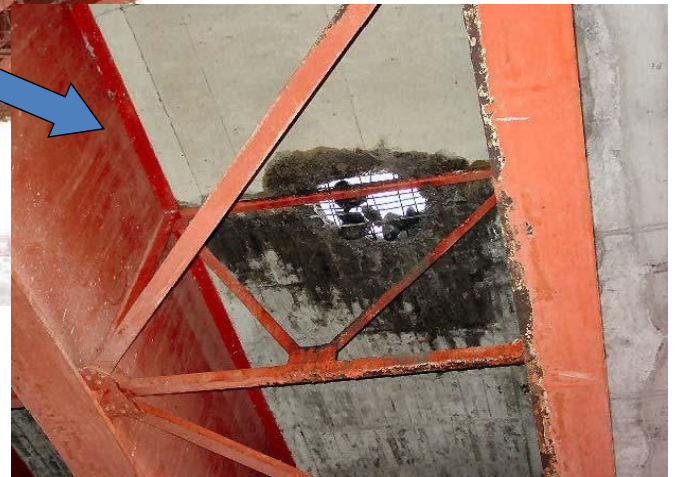
床版の疲労

- ・コンクリート床版
- ・鋼床版

コンクリート(RC)床版の疲労

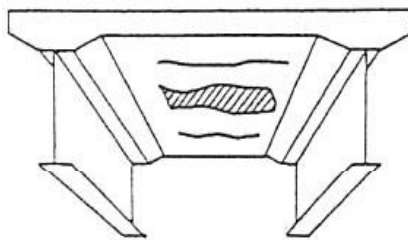


鉄筋コンクリート床版の抜け落ち例

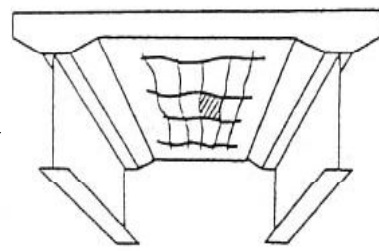


損傷程度と補修・補強工法

① 一方向ひび割れ

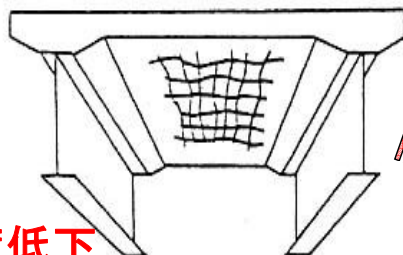


② 格子状ひび割れ



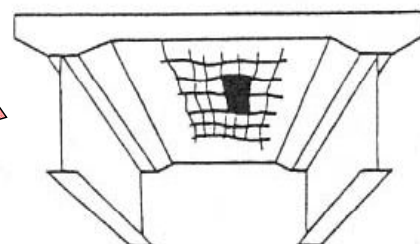
ひび割れ貫通前
⇒ 鋼板接着
CFRPシート貼付

③ ひび割れが上面に貫通, 摺り磨きが見られる段階



せん断強度低下
⇒ 上面増厚+下面補強
打ち換え

④ 抜け落ち



打ち換え

CFRPシート補強



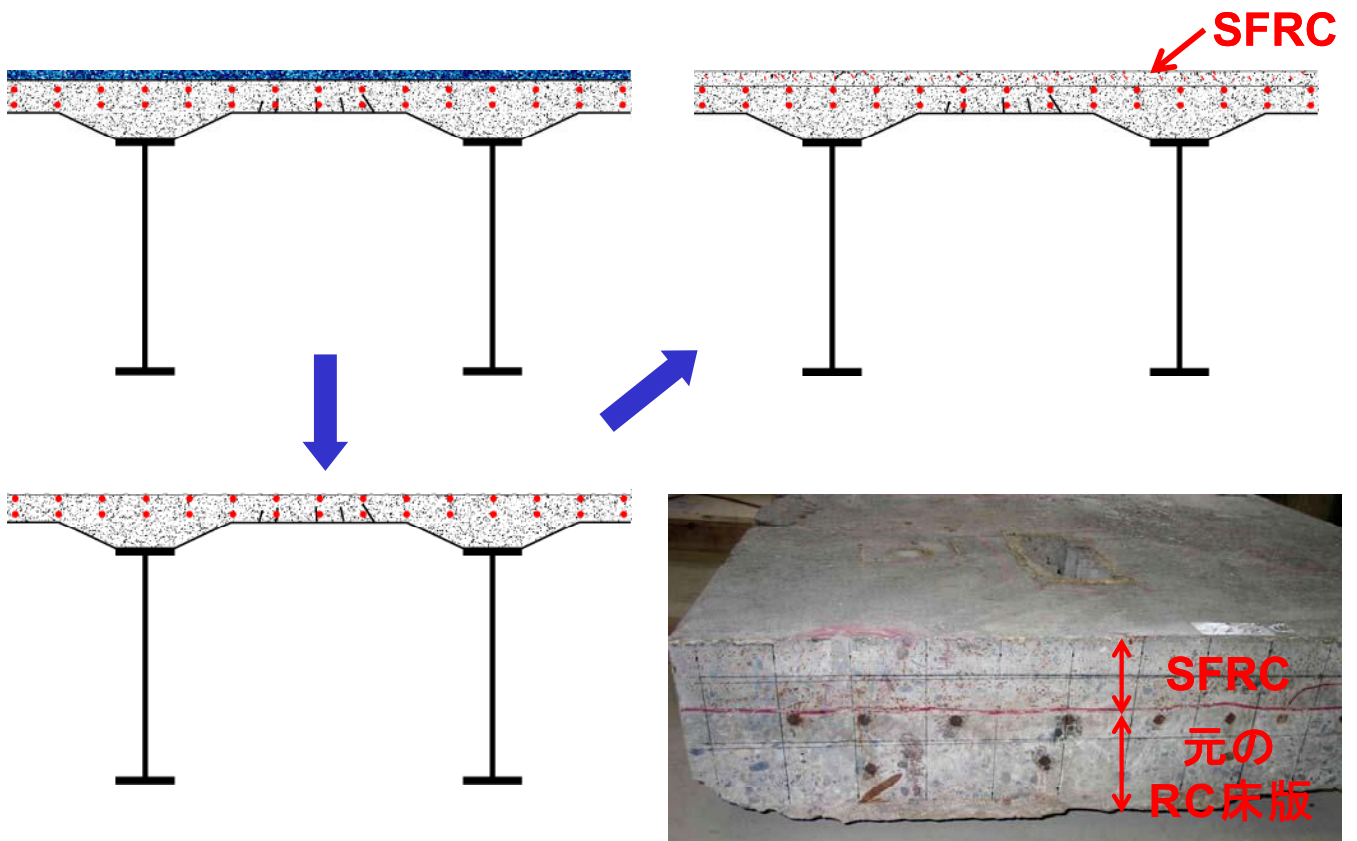
漏水の排水
シートの付着低下を防ぐ

ひび割れの確認



CAESAR 

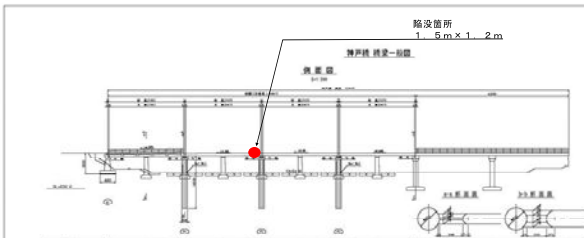
SFRCによる上面増厚



CAESAR 

鋼板接着したRC主桁の損傷・床版の抜け落ち

構造形式：RC桁橋(3主桁)
 橋長：126.5m
 架設年次：1935年(架橋後74年)
 1985年に床版補強を実施
 2003年に点検



鋼板接着したRC主桁の損傷・床版の抜け落ち

CAESARによる現地調査



抜け落ち箇所以外での床版の土砂化



鋼板端部からの漏水



漏水状況(つらら)



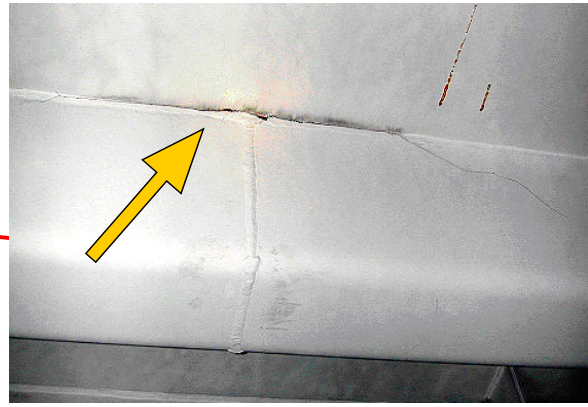
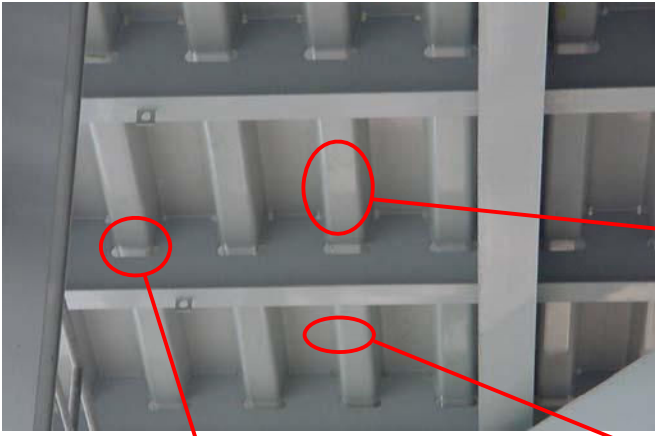
主桁側面の水平方向クラック



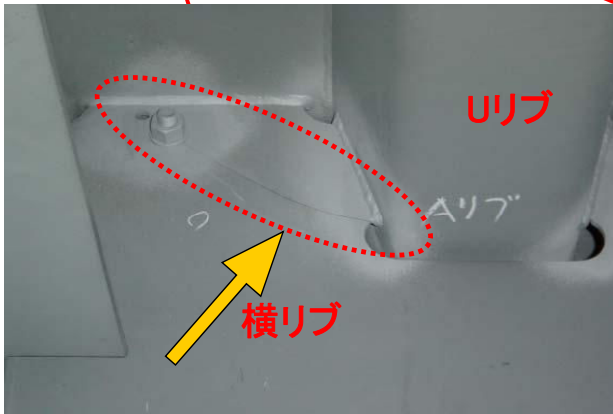
比較的健全な状態の箇所



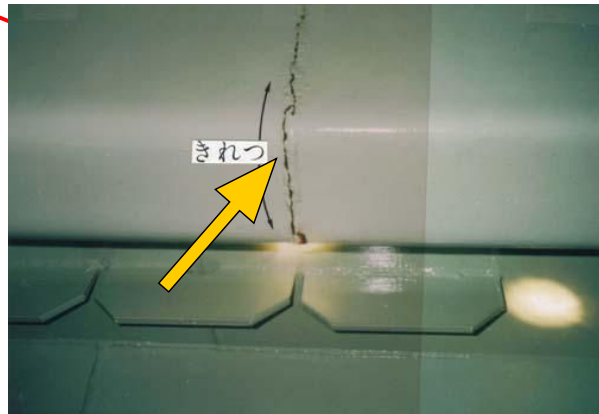
鋼床版の疲労



鋼床版縦リブとデッキプレートの継手部



鋼床版横リブと縦リブ交差部



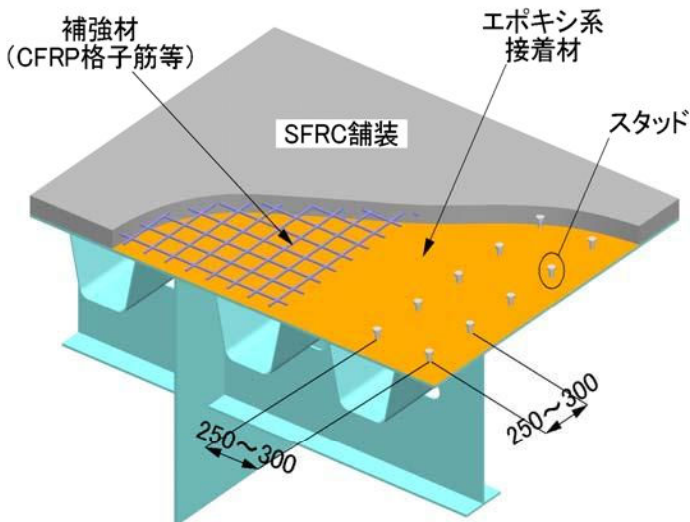
鋼床版縦リブ溶接部



既設鋼床版の疲労対策

— 鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 舗装 —

(SFRC: Steel fiber reinforced concrete)



■ 適用例

- 横浜ベイブリッジR357 (新設)
- 湘南大橋 (+FRPグリッド)
- 首都高速道路 など

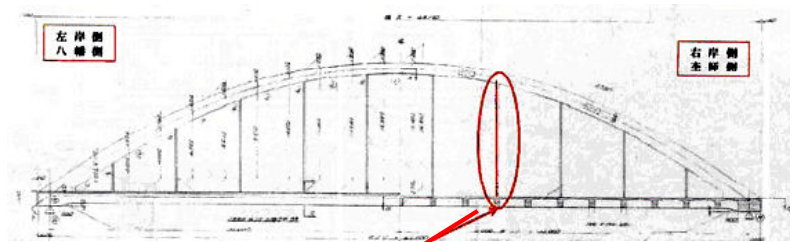
ひび割れ発生後の舗装の耐久性については不明確な点もあり、ひび割れを極力抑える設計・施工上の対策を事前に十分検討しておくことが必要

- ・異種金属接触
- ・鋼性パイルベント橋脚の腐食

異種金属接触(アーチ吊材の破断)

君津市道「君津新橋」(千葉県、君津市)
橋梁形式:下路式ローゼアーチ橋
橋長:L=68.1m 幅員:W=14.0m

損傷部位:アーチ吊材(PC鋼棒)
損傷の種類:破断



側面図

国総研・CAESAR

損傷原因と補修対策

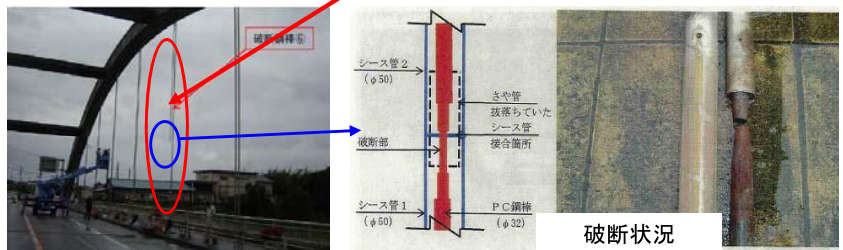
- ・異種金属接触腐食によるPC鋼棒の破断
- ・全吊材PC鋼棒をPCケーブルに交換

情報提供

全国の橋梁管理者

緊急点検

- ・吊り材の緊急点検



破断状況



関連部位の損傷



アーチ吊材の破断



破断部の状況



破断部以外の腐食



内部の腐食を疑わせる変状



破断した留め具からのさび汁

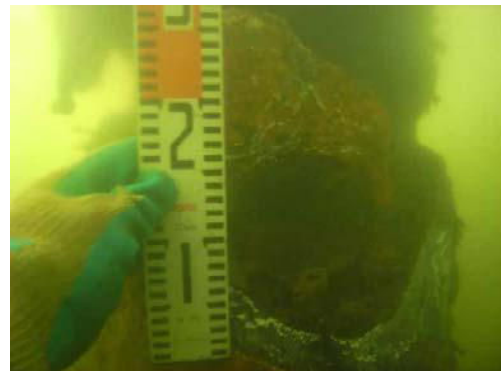


破断吊り材の保護管内部の状況



鋼製パイルベント橋脚の腐食

国道9号「出雲郷大橋側道橋」(直轄管理)
 橋梁形式: 3径間単純鋼桁
 橋長: L=54.46m 幅員: W=2m
 損傷部位: 鋼製パイルベント橋脚水中部
 損傷の種類: 欠損



国総研・CAESAR

損傷原因と補修対策

- ・汽水域における水中部の腐食
- ・コンクリート巻立てによる応急措置

情報提供

全国の橋梁管理者

緊急点検

- ・鋼製パイルベント橋脚の水中部における断面欠損



RC巻立て
応急措置



5. 荒廃する日本としないために

(CAESARの活動概要)

(独) 土木研究所

つくば中央研究所

寒地土木研究所

水災害・リスクマネジメント国際センター
(ICHARM)

構造物メンテナンス研究センター
(CAESAR)

耐震総括研究監

橋梁構造研究グループ

81



CAESARの担う役割

現場の支援

課題のある橋梁の診断・処方
蓄積された知見を提供
現場技術者への技術移転

CAESAR

構造物保全技術の中核的な研究拠点

研究開発

臨床研究に基づき
現場で活用できる技術を開発

情報交流の場

最先端の技術情報が集まり
交流・発信できる場を設定

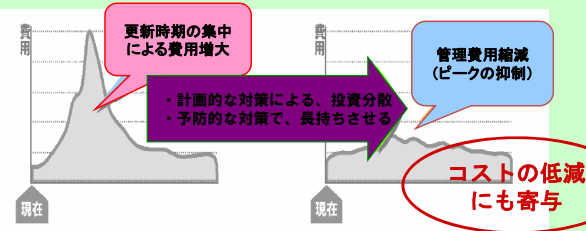
82



CAESARにおける研究の方向性

計画的な保全

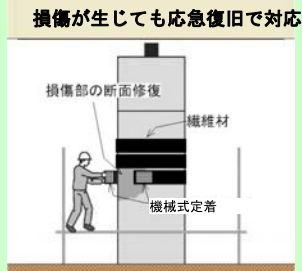
橋梁の状態を評価・予測し、適切な時期に、適切な補修を行う。



震災時に道路としての機能を維持できるように対策（耐震補強）を行う。



限定的な損傷にとどめる



【必要とされる技術】

- ・劣化状況を把握する。
- ・劣化の進行を予測する。
- ・LCCを最小にするための対策、その選定法
- ・計画的な保全のための補修技術、更新技術
- ・震後の緊急復旧技術の開発

他

機能の保持
(通行止めさせない)

安全管理

落橋に至る致命的な損傷を見逃さない。

損傷状態を予測・評価し、交通規制等、適切な対応を行う。



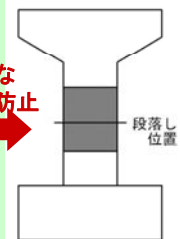
検査技術



落橋を防止するための耐震性能を確保。



致命的な状態を防止



【必要とされる技術】

- ・致命的な損傷を、事前に見つける。
- ・耐力評価に必要な情報を得る。
- ・通行規制の必要性判断のための耐力評価。
- ・落橋を防ぐための補修・補強技術
- ・破壊特性を踏まえた損傷状態の予測、評価

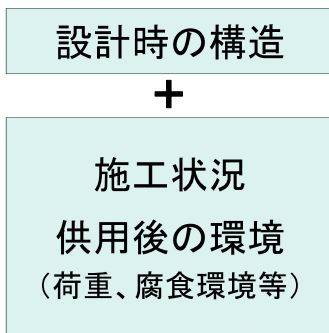
他

利用者の安全
(落橋させない)

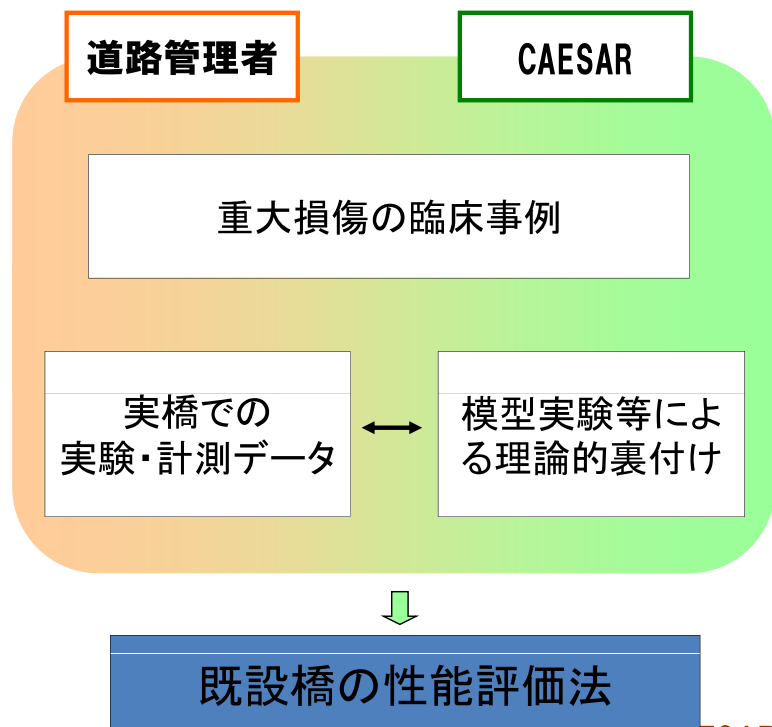
臨床研究に基づく研究開発

【今後：既設橋の管理】

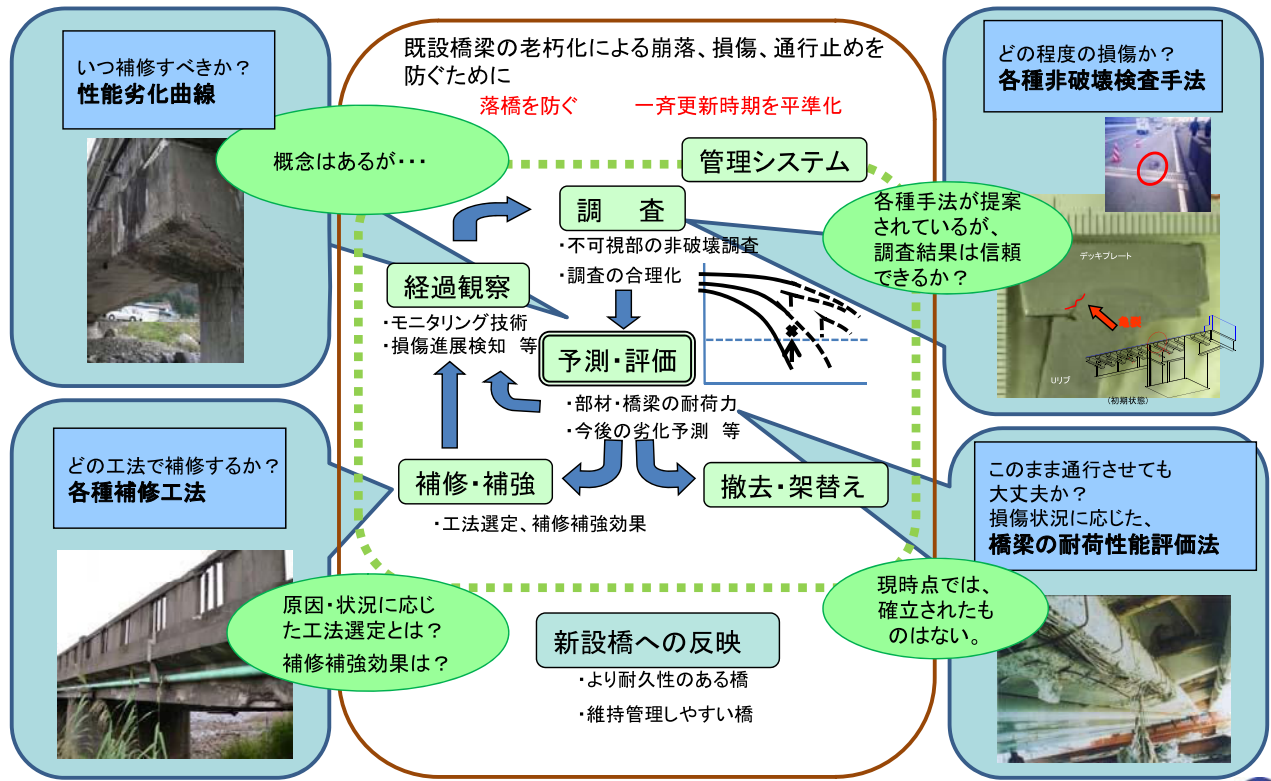
既設橋の性能



橋梁毎に異なる複合的な現象。
模型実験では再現困難。



橋梁の維持管理に必要な技術開発：臨床研究



撤去橋梁等を活用した臨床研究事例

千葉県・銚子大橋



島根県・旧神戸橋



沖縄県・辺野喜橋



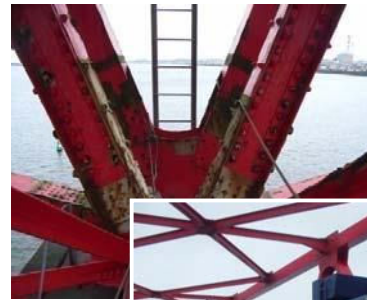
- 載荷試験による耐力評価技術の開発
- 腐食部材の残存耐荷性能評価手法の検討
- 解剖調査による損傷状況把握
- 非破壊検査技術の適用性調査
- 損傷監視のための遠隔モニタリング

腐食損傷橋梁の現地載荷試験(銚子大橋)

路線名：一般国道124号
位置：千葉県銚子市
構造形式：鋼5径間ゲルバートラス桁
橋長：407m (トラス部のみ)
支間割：64.6m+85.6m+107m+85.6m+64.6m
供用年：昭和37年 供用開始から47年

塩害による腐食が著しく、
昭和50年代から現在に至るまで、
全面塗装塗替えと部材補修を実施

その後、震度5以上の地震時に全面通行
止、車重20t以下規制という条件で供用
本年3月に新橋供用開始 旧橋撤去



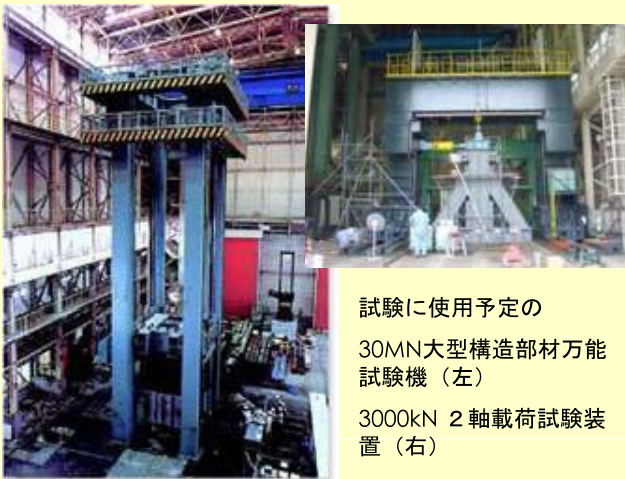
UACJARK FIVE



研究項目

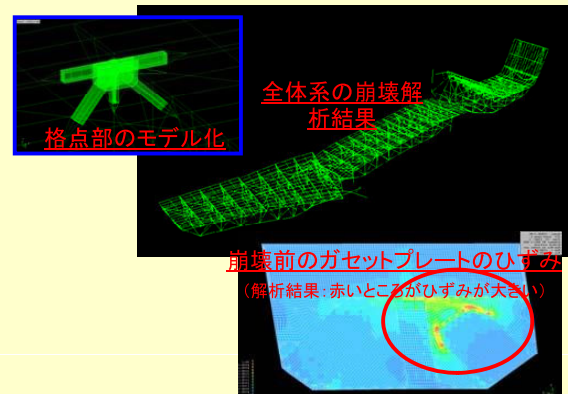
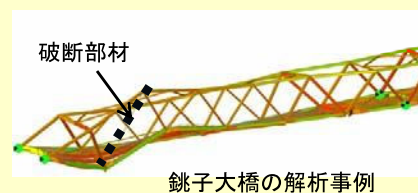
1. 腐食部材の残存耐荷性能評価手法の検討

- ・大型載荷試験装置による実大載荷試験
- ・試験体レベルのFEMシミュレーション解析
- ・腐食部材の耐荷性能評価



2. 橋全体系の耐荷性能評価のためのモデル化手法の検討

- ・実橋載荷試験
- ・構造解析の適用性、適用条件の検討



I-35W橋の解析事例 (早稲田大学)

UACJARK FIVE

ASR損傷橋脚の非破壊検査(旧神戸橋)

橋梁名：旧神戸橋
路線名：一般国道9号
位置：島根県出雲市
構造形式：単純鋼合成箱桁橋（5径間）
橋長：258m（5@51.5m）
竣工年：昭和39年 供用開始後45年

治水事業による道路の付け替えにより、今年度から撤去。

側道橋設置時に継ぎ足した橋脚はり部分に、アルカリ骨材反応（ASR）と疑われる損傷



橋脚はり部のひび割れ状況

CAESAR 

研究項目

①解剖調査による劣化状況把握

- ・橋脚はり部のひび割れ部分の解体調査
ASRによる劣化状況（コンクリート内部の亀裂、鉄筋の腐食・破断）
- ・コンクリート劣化部分の材料
- ・強度特性の把握



橋脚部分のひび割れ

②状態評価のための非破壊検査技術の適用性

- ・非破壊試験によるASRの影響の定量的評価可能性の検討
例) 超音波伝搬速度測定、衝撃弾性波伝搬速度測定
- ・非破壊試験による鉄筋破断部分の検知可能性の検討



あと施工アンカーの引抜き試験

③室内載荷試験による劣化部材の性能把握

- ・ASRひび割れ部に施工したあと施工アンカー筋の性能の把握

CAESAR 

変状モニタリング(辺野喜橋)

- ・位置： 沖縄県国頭村(村管理)
海岸線より50m
- ・諸元等： 単純RC桁橋(3主桁,支間長40m)
耐候性鋼材使用
- ・橋梁形式： 鋼単純合成桁橋(3主桁)
- ・橋格： TL-14 幅員： 6.5m
- ・床版形式： 鉄筋コンクリート床版(16cm)
- ・架設年次： 1981年(昭和56年)
供用開始から28年



海側からの全景



桁下の状況



海側の状況(現道の奥が海岸線)

モニタリング状況 — 成果と課題 —



特定の変状・損傷監視へのモニタリング技術(カメラ映像)を有効活用

⇒ 崩落過程を把握

管理者にも現地画像を配信。変状進行を察知、その後の対応に反映

《課題》

- (1) 遠隔地での監視やデータ記録・確認のための情報通信の性能に応じたシステム構築
- (2) 過酷な環境条件で、記録機器を安定作動するための設置場所確保、設置方法検討
- (3) 使用環境、用途に対応したセンサ・計測機器の仕様検討
(耐環境性、自動露出機能、遠隔地からのカメラ操作機能に配慮)

100年にわたるコンクリート強度試験

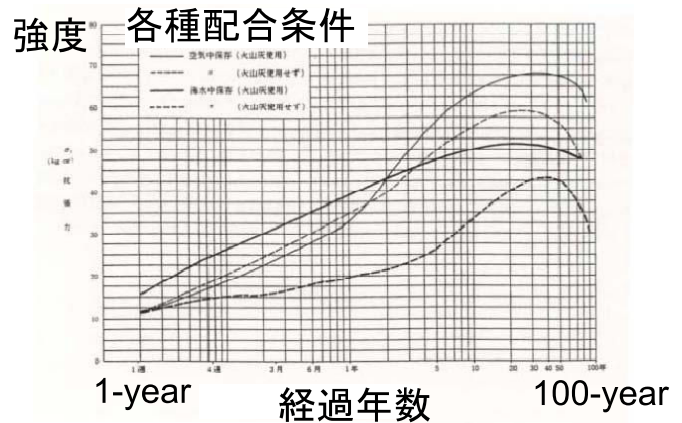
小樽港北防波堤の建設にあたり、廣井勇は1897年、セメントの産地や養生方法などの試験条件を設定した6万個の供試体を設置し、耐久試験を実施しました。2000年まで約100年間にわたり強度試験が続けられ、コンクリートの長期耐久性を検証する重要な資料となっています。



The one he built at that time

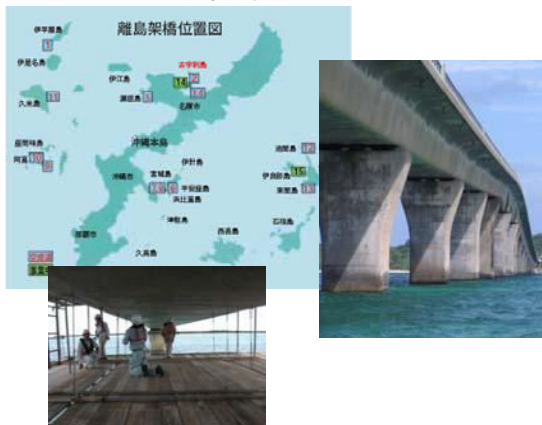


The one he wasn't involved



沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト

既設橋



既往の多数の実橋梁に関する実態データの集積と分析

新設橋(伊良部大橋)



各橋脚やコンクリート桁において、コンクリート中への塩分浸透状況や鋼材の腐食状況を長期計測(建設時に、測定装置を設置)

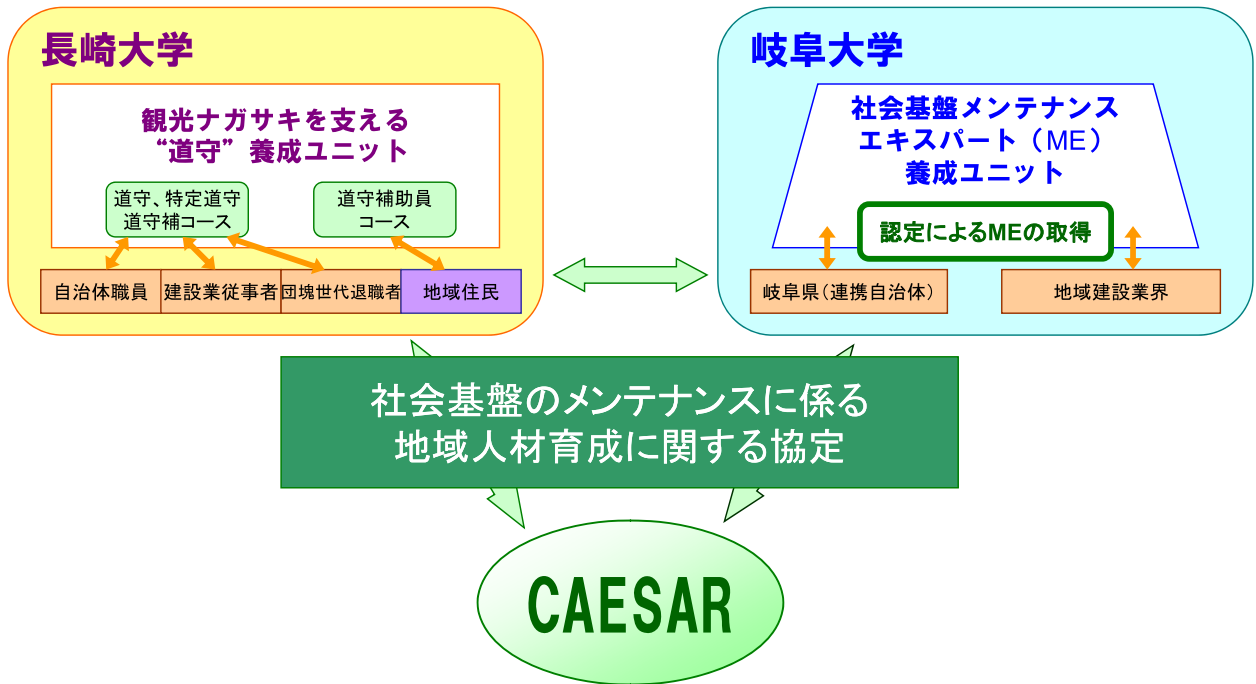
性能劣化曲線へ与える影響の把握:
(a) コンクリートの品質, (b) 環境条件

施工時に良品質のものとするための検査項目



地方における技術者育成の取り組み

岐阜大・長崎大との連携による地方の技術者育成



地方における技術者育成の取り組み

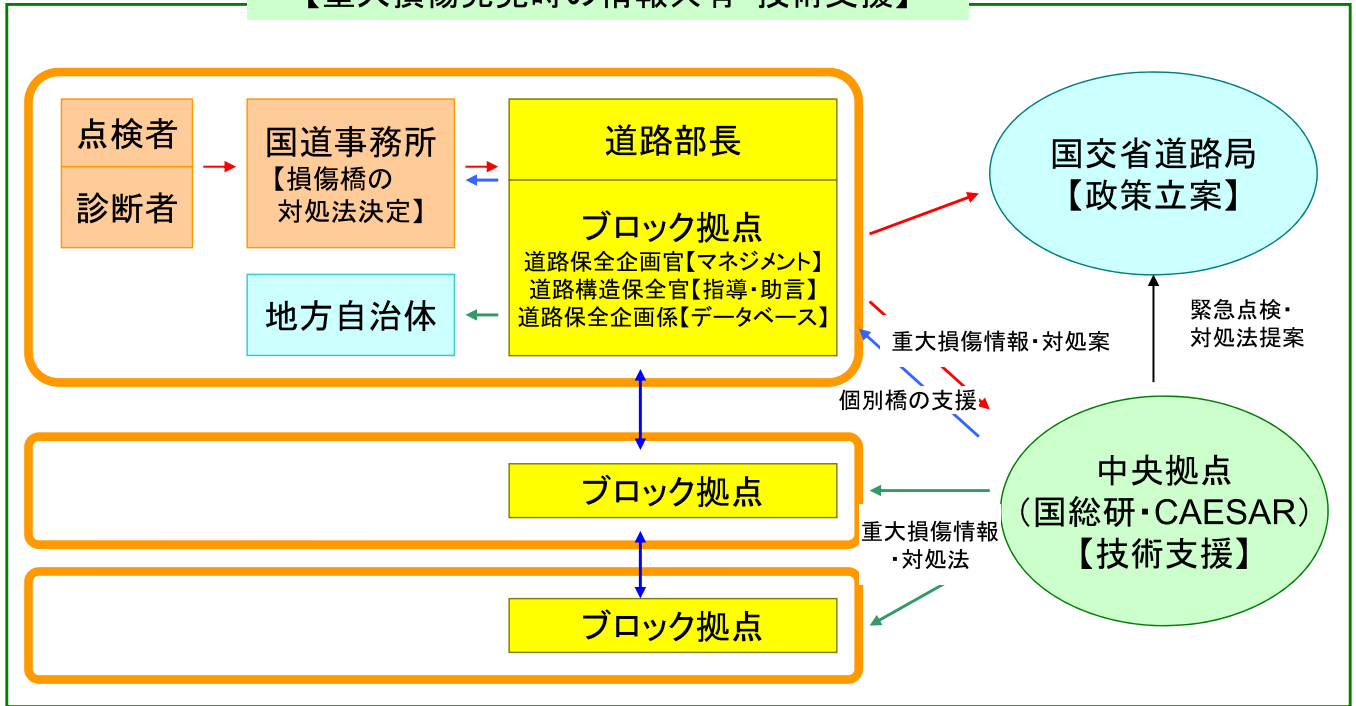
市町の道路管理技術者を対象とした実践的橋梁維持管理講座(香川高専)

	開講日	開催場所	担当	内容
第1回	8月27日 (水)	香川高専	高松高専	・橋梁点検方法の説明 ・GISを活用したデータベースの紹介 ・講座の進め方に対する討議
第2回	10月2日 (木)	橋梁現地	丸亀市	丸亀市内の橋梁(2橋)を対象とした現地研修
第3回	10月24日 (金)	香川高専	高松高専	・赤外線による剥落対応調査、ツインパレスレーダー ・第2回視察橋梁に対する補修・補強検討 ・アルカリ骨材反応について
第4回	11月21日 (金)	橋梁現地	三豊市	三豊市内の橋梁(3橋)を対象とした現地研修
第5回	1月16日 (金)	香川高専	高松高専	・橋の長寿命化に向けて(香川県管理橋梁の状況) ・第4回視察橋梁に対する補修・補強検討 ・道路橋床版について
第6回	2月6日 (金)	橋梁現地	綾川町	綾川町内の橋梁(3橋)を対象とした現地研修
第7回	3月5日 (木)	香川高専	高松高専	・道路橋床版の補修判定法の提案 ・第6回視察橋梁に対する補修・補強検討 ・伊藤学東大名誉教授による特別講演



情報の共有：重大損傷情報の共有

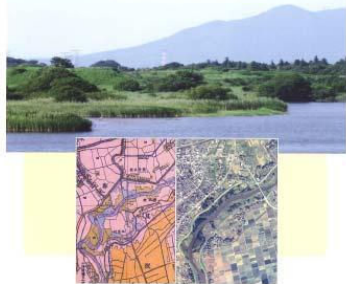
【重大損傷発見時の情報共有・技術支援】



損傷情報の発信：土木技術資料

土木技術の総合情報誌 **土木技術資料**
CIVIL ENGINEERING JOURNAL

最近の技術相談より、特徴的な損傷事例について紹介。
21年8月号より、隔月。



特集 水域生態系の保全・再生

土木技術講座 社会基盤経済論 第8回
マクロ経済上の特性と工学の役割(最終回)

編集協力 国土交通省国土院国土政策総合研究所
設立行政法人 土木研究所
発行 財団法人 土木研究センター

No. 51
Vol.51 AUGUST

現場に学ぶメンテナンス

鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食への対応事例

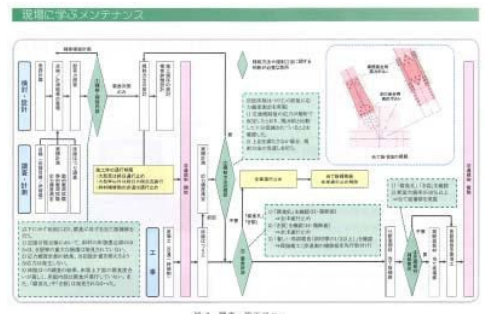
1. はじめに

鋼部材をコンクリートや中筋中に埋込んだ境界部や直下の埋込部では、雨水などによる劣悪な環境によって断面欠損を生じようとする腐食を生じることが可能性や腐蝕性などで知られている。種本家でも鋼トラス橋やアーチ橋の鋼部材が床版等のコンクリートに埋込まれた場合、埋込み部での排水やコンクリート内部への雨水等の浸入により著しい腐食が進行することがある。最近では平成19年6月に国道23号木曾川大橋、平成19年8月には国道7号本庄大橋といずれも大規模な鋼トラスで突如の鋼材腐蝕事故を生じた。古い橋には至らなかったものの、同種事故を防止するため国土交通省では全国の管理者へ注意喚起を行った。また、国土技術政策総合研究所と土木研究所は報告のあった同種事例に対して技術支援を連携して行った。本文は、これらの経緯を踏まえたコンクリート埋込み部材腐食への対応の実例について紹介する。



2. 富山県砺波大橋の補修事例

2.1 概要
本橋は富山県管理の主要地方道野小矢幹線にある鋼3径間連続下りトラス橋(橋長430m、昭和44年完成)である(図1)。注意喚起を受けて平成19年度で稼働の、図2の橋脚減少の腐食に。2.2 調査
本調査は主筋埋込み部材の腐食を調査し、全体的な保証がないため、その後の調査や補修



事前調査や解析結果を踏まえ、はつり調査時の交通規制条件として大型車の通行止め、その他を併用して実施した。また腐食が著しく耐し力条件にある場合には、本庄大橋の例のようにコンクリートをはつりして腐食部が暴露された箇所を突如切断することもある。そのため調査時に断面欠損やき裂が確認された場合は直ちに全断面の埋込み部材を撤去し、鋼材を交換した。

3. おわりに

木曾川大橋や本庄大橋のように既設橋で鋼材などの主筋が露出すると、落橋に至らなくても応力の再配分により構造系は破断前と異なる応力状態となる。それらの影響も適切に評価して対策を講じなければ不測の事故を招くことになるため、鋼材の腐食が顕著な場合は、主筋の交換や

8月 鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食
10月 鋼部材の疲労亀裂(その1)主桁(予定)
12月 " (その2)鋼製橋脚(予定)

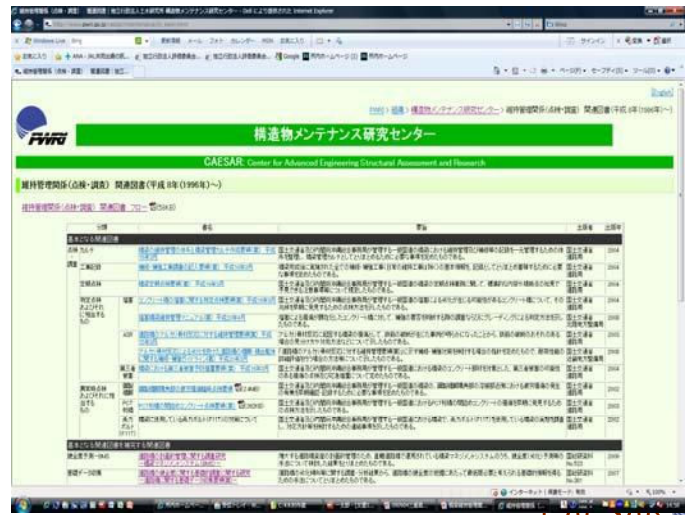
維持管理関係マニュアル類

わが国の既設橋梁の維持管理における、点検・調査等に関するマニュアル類については、これまで個別に提示されてきました。その結果、全容が見えにくく、維持管理において参考とすべきマニュアル類が分りづらくなっていました。そこで、今回、これらのマニュアル類を、今後、既設橋梁の維持管理を実施するに当たり、有効活用して頂けるよう、以下のとおり、整理・分類しました。

これらのマニュアル類につきましては、土木研究所 構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）のホームページより入手することが出来ます。

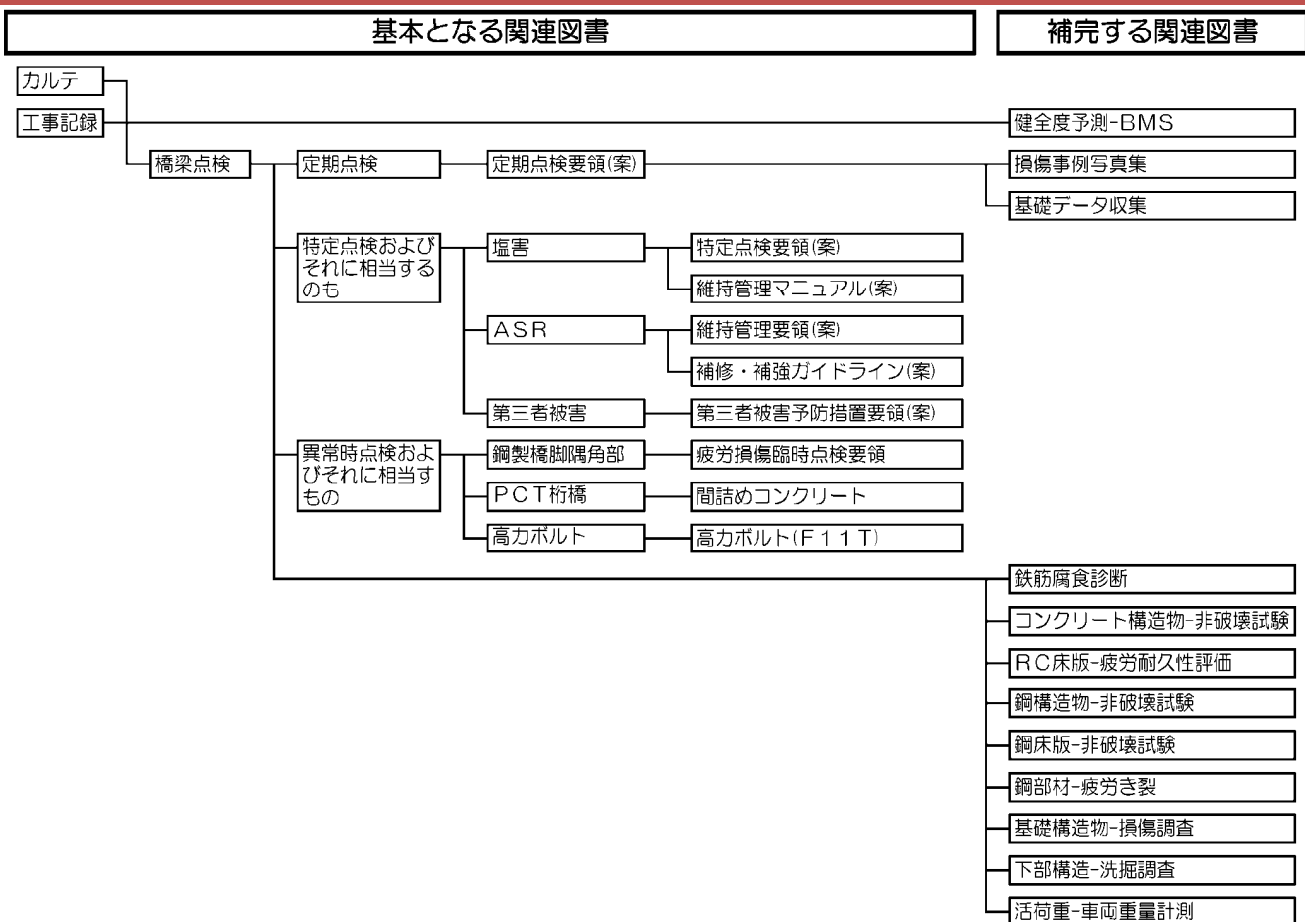


橋梁の維持管理関係マニュアル類の例

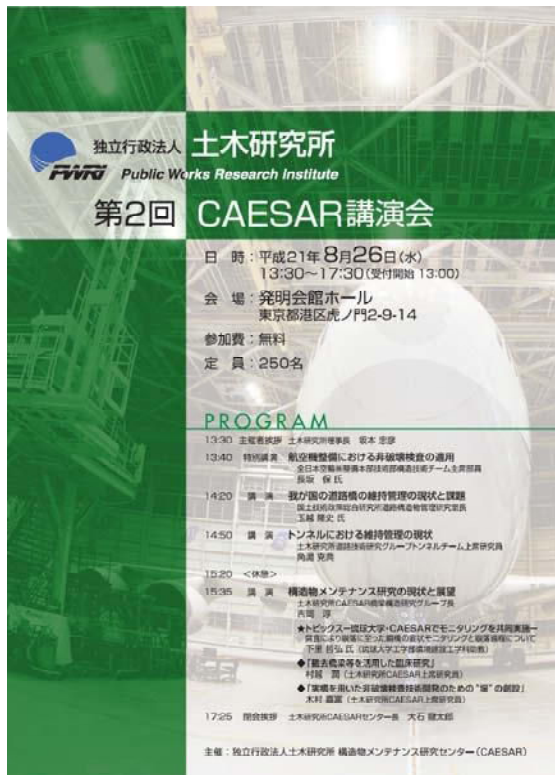


CAESAR

維持管理関係(点検・調査)関連図書 平成8年～



CAESARからの情報発信



独立行政法人 **土木研究所**
FWRI Public Works Research Institute

第2回 CAESAR 講演会

日 時：平成21年8月26日(水)
 13:30~17:30(受付開始 13:00)

会 場：発明会館ホール
 東京都港区虎ノ門2-9-14

参加費：無料
 定 員：250名

PROGRAM

13:30 主催者挨拶 土木研究所理事 坂本 圭彦

13:40 特別講演 航空機整備における非破壊検査の適用
全日本空輸株式会社航空技術部構造診断チームもろ部員
 長塚 保 氏

14:20 講演 我が国の道路橋の維持管理の現状と課題
国土交通省総合研究所道路橋梁維持管理研究部部長
 玉崎 雅史 氏

14:50 講演 トンネルにおける維持管理の現状
土木研究所道路維持研究グループフェルナルチーム上原研究員
 角道 亮 氏

15:20 <休憩>

15:35 講演 構造物メンテナンス研究の現状と展望
土木研究所土木基礎工学研究グループ長
 長岡 淳 氏

★トピックス-筑波大学・CAESARでモニタリングを共同実施-
筑波大学附属土木工学部橋梁の現状モニタリングと劣化予測に
 于ける 経山 氏 (筑波大学工学部建築学系准教授)

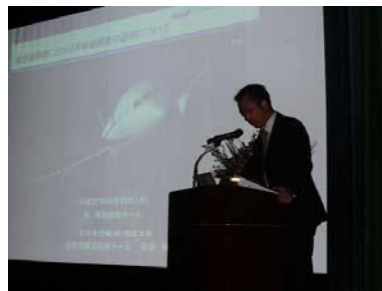
◆「過去の成果等を活用した監視研究」
村岡 晋 (土木研究所CAESAR上原研究員)

◆「実地を基にした非破壊検査技術開発のための“場”の創設」
本村 誠樹 (土木研究所土木基礎工学研究員)

17:25 閉会挨拶 土木研究所CAESARセンター長 大石 龍太郎

主催：独立行政法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター (CAESAR)

→講演資料はCAESARウェブ上に掲載



土木分野以外の検査
 機器関係の各機関も
 含め約280名が聴講



CAESARへの期待(アンケートより)

- 引き続き、講演会を始め情報提供を期待する。
- リーダーシップを持った研究への取組を期待する。
- 劣化メカニズムなど科学的な現象解明、劣化予測手法、健全性評価手法の開発に期待する。
- 維持管理分野の体系的な整理やロードマップの提示を期待する。
- 建設業界も維持管理の関わりに苦慮しており、ビジョンの提示に期待する。

